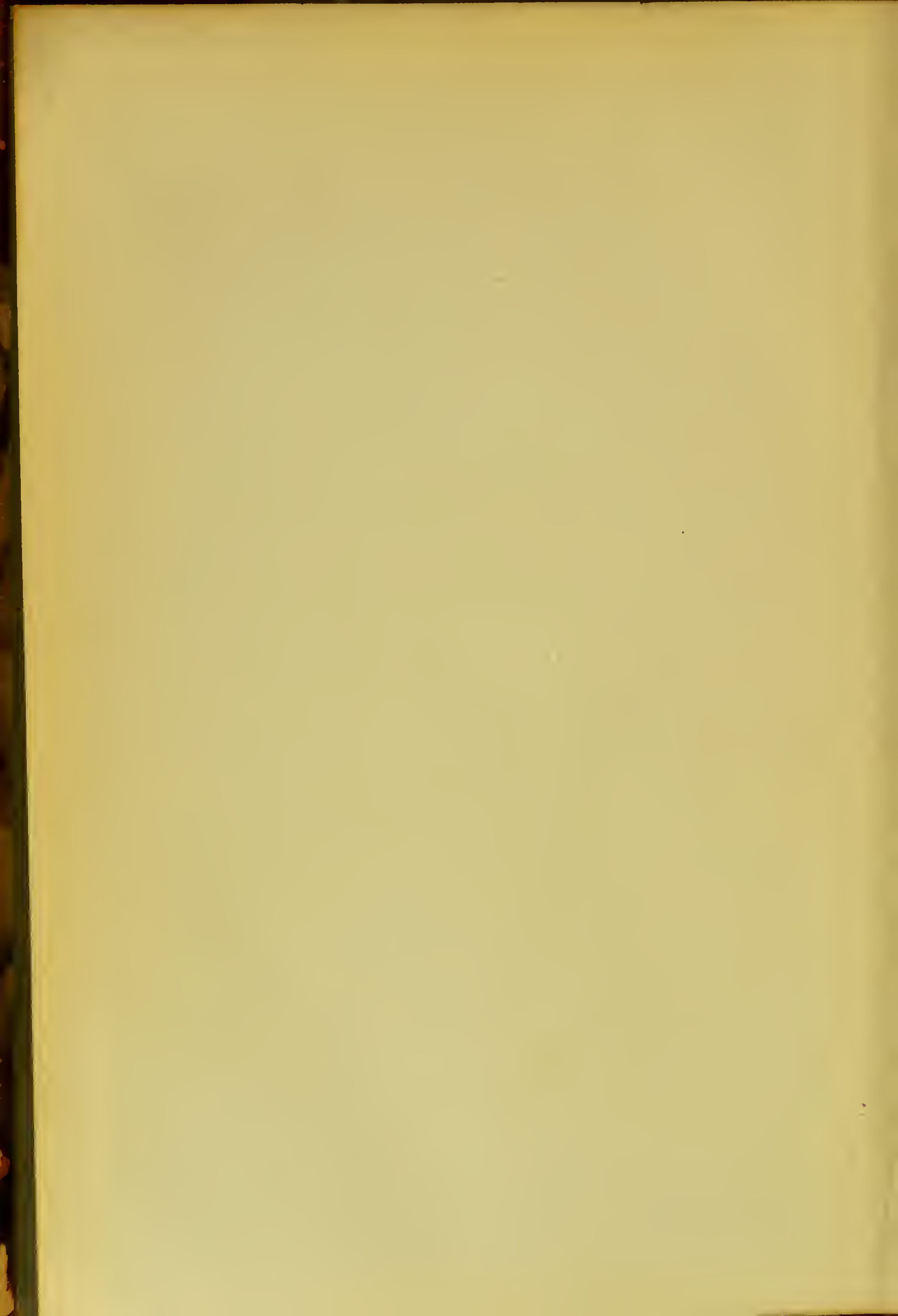




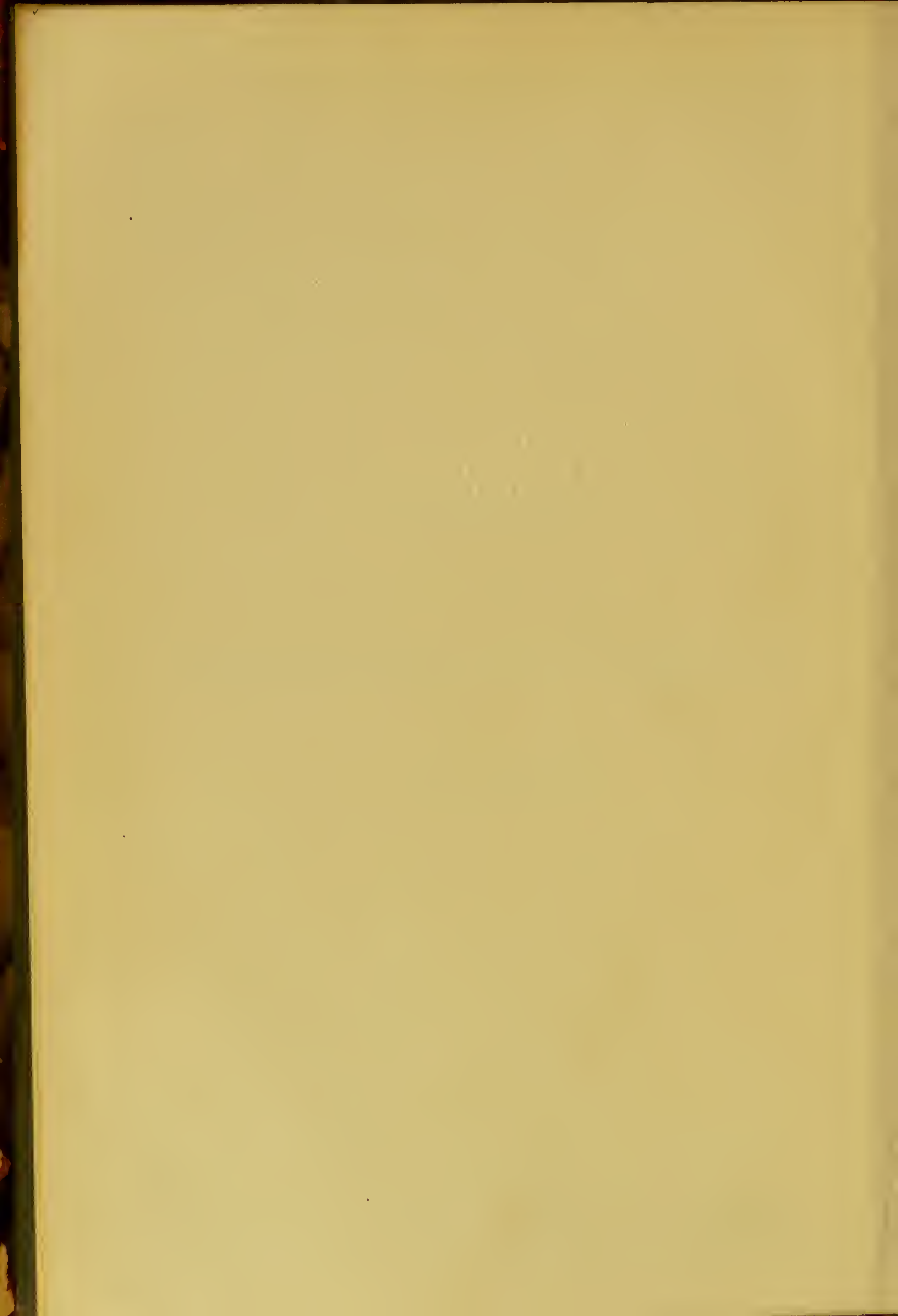


GRUNDZÜGE

DER

PHYSIOLOGISCHEN PSYCHOLOGIE

ZWEITER BAND



GRUNDZÜGE

DER

PHYSIOLOGISCHEN PSYCHOLOGIE

VON

WILHELM WUNDT
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU LEIPZIG

SECHSTE, UMGEARBEITETE AUFLAGE

ZWEITER BAND

MIT 167 FIGUREN IM TEXT SOWIE SACH- UND NAMENREGISTER

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1910

Inhalt des zweiten Bandes.

Zweiter Abschnitt.

Von den Elementen des Seelenlebens.

(Schluß.)

Dritter Abschnitt.

Von der Bildung der Sinnesvorstellungen.

Berichtigungen.

Band I.

Seite 450 Zeile 6 von unten statt »das erstere« lies »das letztere«.
» 450 » 3 von unten statt »das letztere« lies »das erstere«.
» 455 » 6 von oben statt »Nervenwurzeln« lies »Haarwurzeln«.
» 541 » 16 von unten statt »konstant bleiben« lies »wechseln«.
» 597 » 5 von oben statt »arithmetisches Mittel der einzelnen F (ohne Rücksicht auf deren Vorzeichen) den rohen mittleren Fehler F_m« lies »Abweichung des arithmetischen Mittels der einzelnen r' von r den konstanten Fehler C_m«.
» 597 » 8 und 9 von oben statt »$F_m—F_1$« lies »$F_1—C_m$ etc.«
» 602 Anm. 2 statt »1886« lies »1856«.
» 648 Zeile 6 und 5 von unten statt »die der Methode« lies »die nach der Methode«, statt »Ebenmerklichkeitspunkte« lies »Unterschiedsschwelle«.
» 655 Anm. 2 statt »Ebenda« lies »Philos. Stud. Bd. 5, 1889«.

Band II.

Seite 98 Zeile 24 von oben sind die Worte »in dem Zusammenhang der Erscheinung« zu streichen.
» 206 » 13 und 14 von oben statt »b« lies »σ«.
» 212 » 4 von unten ist das Wort »noch« zu streichen.
» 226 » 10 von unten statt »rechts« lies »links«.
» 226 » 9 von unten statt »links« lies »rechts«.
» 448 » 20 von oben statt »beiden« lies »drei«.
» 473 » 15 von oben hinter »größter« ist einzuschalten »Entfernung«.
» 551 » 5 von oben statt »Hebung« lies »Senkung«.
» 592 » 7 von oben statt 90° lies 45°.
» 623 » 2 von unten statt »sechs« lies »acht«.



Zweiter Abschnitt.

Von den Elementen des Seelenlebens.

(Schluß.)

Zehntes Kapitel.

Qualität der Empfindung.

1. Tast- und Gemeinempfindungen.

a. Allgemeine Übersicht dieser Empfindungen.

Die äußere Haut ist verschiedener qualitativ wohl zu unterscheidender Empfindungen fähig: der Druck-, Kälte-, Wärme-, Schmerzempfindungen. Mit diesen Empfindungen scheinen diejenigen qualitativ nahe verwandt zu sein, die innere Gewebe und Organe, wie Schleimhäute, Muskeln, Knochen, Gelenke, Drüsen usw., wenn geeignete äußere oder innere Reize sie treffen, vermitteln können und die man unter dem Namen der Gemeinempfindungen zusammenfaßt. Da sich überdies beiderlei Empfindungen häufig verbinden, so erscheint es angemessen, sie zu einem großen Empfindungsgebiet zu vereinigen.

Ihre Analyse begegnet hauptsächlich zwei Schwierigkeiten. Die erste besteht in der unbestimmten qualitativen Beschaffenheit vieler Gemeinempfindungen, einer Unbestimmtheit, deren hauptsächlichster Grund darin liegen dürfte, daß sie unter normalen Verhältnissen zu schwach und unter abnormen zu stark sind. Alle Empfindungen werden aber am deutlichsten bei einer mittleren Intensität, am unvollkommensten in der Nähe der Reizschwelle und Reizhöhe unterschieden. Die zweite Schwierigkeit liegt darin, daß die meisten Haut- und Gemeinempfindungen von zusammengesetzter Beschaffenheit sind, und daß wir sie häufig nicht mit Sicherheit in ihre Bestandteile zu sondern vermögen. Dieses Hindernis macht sich vorzugsweise bei denjenigen Empfindungen geltend, die in

inneren Reizen ihre Quelle haben, also vor allem bei den Gemeinempfindungen, außerdem aber auch bei den an die Bewegungen und Stellungen der Teile unseres Körpers gebundenen. Indem die inneren Reize, aus denen sie entspringen, unserer unmittelbaren Beobachtung unzugänglich sind, entziehen sie sich meistens zugleich einer willkürlichen Variation, und es wird daher in der Regel unmöglich, anzugeben, ob eine bestimmte Empfindung aus mehreren, voneinander unabhängigen Reizungsvorgängen entsprungen sei oder nicht.

Zum Zweck der psychologischen Untersuchung scheiden wir dieses ganze Gebiet angemessen in drei Klassen von Empfindungen: 1) in die äußeren Tastempfindungen; unter ihnen wollen wir alle durch das äußere Tastorgan, die Haut, vermittelten Empfindungen verstehen, welche durch äußere Sinnesreize, z. B. durch den Druck von Gewichten, durch äußere Temperatureinwirkungen usw., erzeugt werden; 2) in die inneren Tastempfindungen; so wollen wir diejenigen an die Funktion der Tastorgane gebundenen Empfindungen nennen, die in inneren Reizen ihren Grund haben, welche durch die Lage eines beweglichen Körperteils, durch die Bewegung der Tastorgane, sowie durch die Kraftleistungen ihrer Muskeln irgendwie ausgelöst werden; 3) in die Gemeinempfindungen, unter denen wir schließlich alle sonstigen aus inneren Reizen hervorgehenden und in dem physiologischen oder pathologischen Zustand der Organe begründeten Empfindungen verstehen. Diese drei Klassen bilden demnach eine Stufenfolge, in der die inneren Tastempfindungen zwischen dem vollständig den übrigen Sinnesorganen gleichgearteten äußeren Tastsinn und den Gemeinempfindungen in der Mitte stehen. Den letzteren gehören sie insofern an, als sie auf inneren Reizen beruhen und darum auch auf unser subjektives Gesamtbefinden, das Gemeingefühl, von größerem Einflusse sind als die äußeren Sinnesempfindungen. Mit dem äußeren Tastsinn stehen sie deshalb in näherer Beziehung, weil sie fortwährend mit ihm zusammenwirken und in dieser Verbindung einen wichtigen Einfluß auf die Bildung unserer Vorstellungen gewinnen. Eine eigentümliche Zwischenstellung zwischen den Tast- und Gemeinempfindungen nehmen endlich noch die Schmerzempfindungen ein, die ebensowohl im Gebiet des Tast- wie des Gemeinsinnes vorkommen können[1].

[1] Es scheint mir nicht berechtigt, den Schmerz nur als ein Gefühl, das andere Empfindungen begleitet, nicht aber selbst als eine Empfindung anzuerkennen. (Vgl. z. B. ALFR. LEHMANN, Das Gefühlsleben. 1892, S. 38.) Der Schmerz ist Empfindung und Unlustgefühl zugleich. Als Empfindung kann er sich mit andern Empfindungen, wie Druck-, Temperaturempfindungen, verbinden, aber er kann auch, namentlich im Gebiet des Tast- und Gemeinsinns, für sich allein auftreten. Wahrscheinlich hat der übertragene Gebrauch des Wortes »Schmerz« für Unlustgefühle jeder Art bei der Annahme, daß er als sinnliche Empfindung keine selbständige Qualität sei, einigermaßen mitgewirkt.

Vor allem bei den Haut- und Gemeinempfindungen tut es not, daran zurückzuerinnern, daß wir unter einer *Empfindung* überall nur eine einfache Bewußtseinsqualität zu verstehen haben, in der als solcher nicht das geringste von dem enthalten ist, was durch die Verarbeitung zahlreicher Empfindungskomplexe zu Vorstellungen schließlich aus ihr hervorgeht. Bei der Empfindung, die durch einen Druck auf die Haut, durch die Bewegung eines Tastorgans oder durch die Kraftleistung gewisser Muskeln hervorgebracht wird, bleibt, nach den oben (Bd. 1, S. 409 ff.) aufgestellten Prinzipien, so lange es sich um die Auffassung der bloßen Qualität der Empfindung handelt, sowohl die Beziehung auf die Organe, in denen die Empfindung durch äußere oder innere Reize entsteht, wie die Beschaffenheit dieser Reize selbst völlig außer Betracht. Gerade bei den Haut- und Gemeinempfindungen wird dieser Gesichtspunkt deshalb leichter übersehen als anderwärts, weil in diesem Fall die Namen, die wir den einzelnen Empfindungsqualitäten beilegen, verhältnismäßig neue Schöpfungen sind, die noch deutlich die Spuren ihres Ursprungs erkennen lassen, so daß man nun verführt wird, die Bedeutung des *Namens* auf die Sache selbst zu übertragen. Man gesteht daher wohl im allgemeinen zu, daß bei den Empfindungen Blau, Rot, Gelb weder an das empfindende Auge oder dessen Netzhaut noch an irgendeinen bestimmten roten, blauen oder gelben Gegenstand gedacht werden müsse. Aber wenn von Gelenk- oder Muskelempfindungen die Rede ist, so verbindet sich damit leicht die Meinung, daß sie an und für sich in die Gelenke oder Muskeln verlegt werden; oder bei Kraft-, Druck-, Bewegungsempfindungen ist man geneigt, sofort an die Vorstellung oder den Begriff der Kraft, des drückenden Gewichtes usw. zu denken. Dieser Vermengung gegenüber, die namentlich in der Lehre von den sogenannten Bewegungs- und Muskelempfindungen viel Verwirrung angerichtet hat, sei ein für allemal bemerkt, daß wir hier, ebenso wie bei allen andern Sinnen, die Empfindungen nicht anders *bezeichnen* können, als indem wir entweder die Organe namhaft machen, deren Funktion nachweislich zu ihrer Entstehung erforderlich ist, oder indem wir auf die äußeren Bedingungen hinweisen, unter denen sie auftreten. In diesem Sinne reden wir von Gelenk-, Muskel-, Druck-, Kraftempfindungen usw., lediglich um anzudeuten, daß diejenigen Empfindungen gemeint sind, die in den Gelenken, in den Muskeln oder beim Druck von Gewichten, bei der Kraftleistung der Muskeln entstehen. Aber es soll damit nicht entfernt gesagt sein, daß der Empfindungsqualität an und für sich schon eine Ortsbeziehung auf Gelenke und Muskeln oder gar die Vorstellung einer Kraft- oder Gewichtsgröße innewohne. Wie solche Verbindungen und Beziehungen, die in unseren wirklichen Vorstellungen freilich niemals fehlen, entstehen, dies

nachzuweisen wird erst die Aufgabe einer Analyse der Vorstellungsbildung sein können.

b. Äußere Tastempfindungen.

Wir unterscheiden drei Arten äußerer Tastempfindungen: die Druck-, die Temperatur- und die Schmerzempfindungen. Zuweilen hat man außer den Druck- und Temperaturempfindungen noch eine »Berührungsempfindung« unterschieden und vorzugsweise in ihr die spezifische Funktion des Tastorgans gesehen[1]. Für ihre Trennung von den Druckempfindungen lassen sich aber keine zureichenden Gründe geltend machen. Eher ließen sich die Kitzelempfindungen als eine spezifische Form auffassen. Doch beruht ihre Eigentümlichkeit wohl teils auf der räumlichen Ausbreitung schwacher, flächenhafter Druckreize, teils auf den Mitempfindungen und Mitbewegungen, die sich mit solchen Berührungsempfindungen assoziieren können. Sie lassen sich daher am besten einer Gruppe komplexer Gemeinempfindungen zurechnen, die zugleich Hautempfindungen als konstituierende Bestandteile enthalten.

Die Druckempfindungen, die durch die einzelnen, räumlich gesonderten Teile der Hautoberfläche vermittelt werden, sind zwar in ihrer qualitativen Beschaffenheit einander ähnlich, aber sie gleichen sich keineswegs vollständig. Wenn wir z. B. auf die Rücken- und die Hohlfläche der Hand zwei einander objektiv völlig gleichende Druckreize einwirken lassen, so bemerken wir, auch abgesehen von der Beziehung der Eindrücke auf verschiedene Stellen der Haut, deutlich eine qualitative Verschiedenheit. Wir assoziieren aber allerdings dieselbe so fest mit der örtlichen Unterscheidung, daß es besonderer Aufmerksamkeit bedarf, um sie zu bemerken. Diese lokale Färbung der Druckempfindung stuft sich, wie es scheint, stetig ab von einem Punkte zum andern, indem sie an den im Tasten vorzugsweise geübten nervenreichsten Teilen, wie an den Fingern oder Lippen, schneller sich verändert, an den minder geübten und nervenärmeren, wie Schenkeln oder Rücken, über größere Flächen annähernd konstant bleibt.

Läßt man ferner auf ein und dasselbe Hautgebiet von konstanter Empfindungsbeschaffenheit verschiedenartige Körper als Druckreize einwirken, so bemerkt man, auch wenn Begrenzung, Größe und Gewicht sowie die Temperatur der Objekte möglichst einander gleichen, dennoch je nach der Beschaffenheit ihrer Oberfläche qualitativ verschiedene Emp-

---

[1] MEISSNER, Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Haut. 1853, und Zeitschrift für rat. Medizin. N. F. Bd. 4, S. 260. RICHET, Recherches expérimentales et cliniques sur la sensibilité. 1877, p. 205, 216.

findungen. So unterscheiden wir namentlich glatte und rauhe, spitze und stumpfe, harte und weiche Eindrücke, wobei zwischen den durch diese Wörter bezeichneten Gegensätzen alle möglichen Übergänge stattfinden können. Nicht minder erzeugt der Druck flüssiger Körper eine eigentümliche Tastempfindung, die mit der Beschaffenheit der Flüssigkeit und namentlich, je nachdem die Haut durch sie benetzbar ist oder nicht, variiert. Ebenso charakteristisch ist die Empfindung, die der Widerstand der bewegten Luft hervorbringt, und wesentlich anders gestalten sich hier wieder der Effekt eines Windstoßes, die Erschütterung durch starke Schallvibrationen und die leise Druckempfindung, die bei der Bewegung im Finstern durch die Reflexion der Luft an festen Gegenständen, denen wir uns nähern, entsteht. Druckempfindungen der letzteren Art verraten meist dem Blinden die Hindernisse, die sich ihm in den Weg stellen. Charakteristisch verschieden von allen Arten positiver Druckwirkung ist endlich die Empfindung, die entsteht, wenn wir eine Hautstelle einem negativen Druck aussetzen, indem wir sie in Berührung mit einem luftverdünnten Raume bringen. In allen diesen Fällen ist aber das Zustandekommen einer Empfindung daran gebunden, daß der Druckreiz auf eine bestimmte Hautstelle beschränkt ist. Den Druck der Atmosphäre, der gleichförmig auf unsere ganze Körperoberfläche einwirkt, empfinden wir nicht; selbst einen Druck, dem ein einzelnes Glied unseres Körpers ausgesetzt wird, empfinden wir vorzugsweise an der Stelle, wo die komprimierte und die druckfreie Hautregion aneinander grenzen. Bedient man sich zu diesem Versuch des Drucks von Flüssigkeiten, indem man z. B. einen Finger oder die Hand in ein Gefäß mit Quecksilber taucht, das eine der Hautwärme gleiche Temperatur hat, so kann übrigens die auffallend stärkere Druckempfindung an der Begrenzungsstelle zum Teil auch durch die elastische Spannung der Flüssigkeit an ihrer Oberfläche bedingt sein, die gerade an dieser Stelle eine Deformation der Haut hervorbringt [1].

Vergleicht man nun die oben unterschiedenen Druckempfindungen des Spitzen und Stumpfen, Weichen und Harten usw. sowie der mannigfachen Widerstandsformen flüssiger und gasförmiger Körper, so erkennt man unschwer, daß sie, soweit es sich nicht um Intensitäts- und um die oben erwähnten lokalen Unterschiede handelt, hauptsächlich auf der verschiedenen räumlichen und zeitlichen Verteilung einfacher Empfindungen beruhen, die selbst ihrer reinen Qualität nach übereinstimmen. So beruht z. B. der Gegensatz einer glatten und einer rauhen Fläche offenbar auf der dort vollkommen stetigen, hier diskontinuierlichen Ausbreitung

[1] Meissner, Zeitschrift für rat. Medizin. 3. R. Bd. 7, S. 92. Kiesow, Arch. ital. de biol. vol. 26, 1897, p. 417.

des Eindrucks; ebenso der des Harten und Weichen auf der verschiedenen Intensität und auf dem abweichenden zeitlichen Verlauf der Empfindungen. Eine wesentliche Eigentümlichkeit der Druckempfindungen dürfte demnach darin bestehen, daß sie uns in der Regel als räumliche und zeitliche Komplexe einfacher Druckqualitäten gegeben sind, und daß gewisse dieser Komplexe konstante Verbindungen miteinander eingehen, die ihnen für unser Bewußtsein nahezu den Charakter unteilbarer und darum scheinbar einfacher Eindrücke verleihen.

Mit den Druckempfindungen verbinden sich Temperaturempfindungen, sobald sich die Temperatur der mit dem Tastorgan in Berührung kommenden Körper über oder unter einem physiologischen Indifferenzpunkt befindet, der durch die Adaptation an die relativ konstante Eigenwärme der Haut bestimmt ist. Dieser Punkt liegt normalerweise bei 28 bis 29° C. Er ist an den bedeckten Teilen des Körpers ziemlich konstant, während die unbedeckten etwas größere Schwankungen zeigen [1]. Die Abweichungen von diesem Punkte nach oben erzeugen Wärme-, die nach unten Kälteempfindungen. Jede von ihnen ist wahrscheinlich wiederum nur intensiver Veränderungen fähig, doch können sie sich teils mit Druck- teils mit Schmerzempfindungen verbinden. Ausdrücke wie warm, brennend, heiß oder kühl, kalt, eisig, beruhen wohl nicht bloß auf Intensitätsunterschieden, sondern auch auf solchen Komplikationen von Temperatur- und Schmerzempfindungen oder selbst verschiedener Temperaturempfindungen miteinander. Auch Wärme und Kälte empfinden wir übrigens, ähnlich wie den Druck, nur, wenn der Reiz auf eine mehr oder weniger beschränkte Stelle der Haut einwirkt. Ein die ganze Haut gleichförmig treffender Temperaturreiz, wie z. B. beim Sprung in ein kaltes oder warmes Bad, wird dagegen in der Regel nur vorübergehend, bis die oben erwähnte Anpassung der Haut eingetreten ist, als Wärme oder Kälte empfunden. Der durch die Eigenwärme bestimmte Null- oder Indifferenzpunkt des Temperatursinnes ist demnach keine unveränderliche Größe, sondern die Haut adaptiert sich allmählich der Außentemperatur, so daß jener Punkt in der Kälte sinkt und in der Wärme steigt. Darum wird nicht bloß das Ansteigen und Sinken der Hauttemperatur, sondern es wird auch jede beträchtlichere vorübergehende Abweichung einer Hautstelle von der Temperatur der Adaptation als Wärme oder Kälte empfunden. Wenn man z. B. eine abgekühlte Metallplatte kurze Zeit auf die Stirn legt und dann wieder hinwegnimmt, so dauert die Kälteempfindung noch während einiger Zeit fort, obgleich nun die Eigenwärme der abgekühlten Stelle bereits an-

[1] LEEGAARD, Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 48, 1891.

steigt[1]. Dabei ist die Empfindlichkeit des Temperatursinnes zugleich in dem Sinne veränderlich, daß sie ihr Maximum bei Temperaturschwankungen hat, die dem Indifferenzpunkt nahe liegen. Die Grenzen der Temperatur, zwischen denen durch Adaptation der Indifferenzpunkt sich verschieben kann, ist aber im allgemeinen um so größer, je inkonstanter die Lage dieses Punktes selbst ist. Sie scheinen also hauptsächlich wieder einerseits von dem Schutz durch die Kleidung, sowie von dem natürlichen Schutz, den gewisse Hautteile vor andern, z. B. die Handfläche vor dem Handrücken, durch ihre Lage genießen, abhängig zu sein. Besonders aber verschiebt die längere Einwirkung einer Temperatur die Adaptationsgrenze zu ihren Gunsten. Auf diese Weise vermochte THUNBERG den Indifferenzpunkt an den Fingern durch Adaptation einerseits bis zu 11° C herabzudrücken, anderseits bis zu 39° zu erhöhen[2]. Ferner fand E. H. WEBER, daß sowohl die Wärme- wie die Kälteempfindung bis zu einer gewissen Grenze mit der Größe der empfindenden Fläche zunimmt, und daß Temperatur- und Druckempfindung insofern in einer Wechselbeziehung stehen, als kalte Körper vom gleichen Gewicht schwerer zu sein scheinen als warme[3]. Diese Bedingungen der Adaptation und der sonstigen Einflüsse auf die Temperaturempfindungen machen es schließlich wohl begreiflich, daß auch die Reizschwelle und die Unterschiedsempfindlichkeit, die sich bei den Druckempfindungen leicht ermitteln lassen (Bd. 1, S. 670 ff.), allzusehr schwanken, um eine irgend exakte Bestimmung zuzulassen. Als annähernder Grenzwert für die Unterschiedsschwelle läßt sich wohl nach neueren Versuchen eine Temperaturänderung von etwa $^1/_8$° C festhalten[4]. Selbstverständlich kann unter diesen Umständen von einer auch nur annähernden Gültigkeit des WEBERschen Gesetzes nicht die Rede sein.

Neben den Druck- und Temperaturempfindungen vermittelt endlich die äußere Haut noch Schmerzempfindungen, die sich entweder, wie oben bemerkt, mit intensiveren Temperatur-, seltener mit Druckempfindungen verbinden, oder aber für sich allein auftreten können. Auch die Schmerzempfindungen zeigen an den verschiedensten Hautstellen keine oder nur geringe Qualitäts-, und im Vergleich mit den Druck- und Temperaturempfindungen relativ geringe Intensitätsunterschiede. Denn unter allen Empfindungen zeichnen sich die des Schmerzes durch die

[1] HERING, Grundzüge einer Theorie des Temperatursinns. Sitzungsber. der Wiener Akad. 3. Abt. Bd. 75, 1877, S. 8 ff.

[2] THUNBERG, NAGELS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, 1905, S. 671.

[3] E. H. WEBER, Tastsinn und Gemeingefühl, S. 531 ff.

[4] FECHNER, Psychophysik, Bd. 1, S. 203. E. H. WEBER (Tastsinn und Gemeingefühl, S. 554) gibt nur $^1/_5$—$^1/_6$° R. an. Außerdem LINDEMANN, De sensu caloris. Dissert. Halis. 1857. NOTHNAGEL, Deutsches Archiv für klin. Medizin, Bd. 2, S. 281. ALSBERG, Über Raum- und Temperatursinn. Dissert. Marburg 1863. DESSOIR, Archiv für Physiologie, 1892, S. 298.

Eigenschaft aus, daß sie im allgemeinen erst bei stärkeren Reizen entstehen, dann aber auch sofort mit hohen Intensitäten einsetzen. Eine weitere Eigentümlichkeit ist ferner die lange Latenzzeit der Reizung, der auf der andern Seite eine längere Nachdauer der Erregung gegenübersteht. Während nämlich mechanische Druckreize bei Intervallen von $^1/_{50}$ bis $^1/_{70}$ Sek. und den mechanischen Reizen ähnlich wirkende schwache elektrische Stromstöße bei solchen von $^1/_{80}$ Sek. nach den Versuchen von BLOCH noch eben als getrennte empfunden werden können[1], lehrt schon bei den Temperatur-, aber noch mehr bei den Schmerzreizen die unmittelbare Beobachtung, daß hier die Empfindungen nur langsam und allmählich abklingen. Da infolgedessen der Zeitpunkt des Verschwindens der Empfindung, der zugleich auch mit der Intensität derselben beträchtlich variiert, kaum mit Sicherheit festzustellen ist, so sind messende Versuche in diesen Fällen noch nicht ausgeführt. Bei den Schmerzempfindungen hat übrigens dieses langsame Abklingen und die lange Dauer der Latenz zu der Vermutung geführt, die Schmerzreize würden zu den Nervenzentren auf ganz andern Bahnen geleitet als die Druck- und Temperaturreize, indem jene nicht, wie diese, in den weißen Markfasern, sondern in der grauen Substanz zum Gehirn gelangten. Hieraus erklärt man zugleich die häufig diffuse Beschaffenheit des Schmerzes und die Mitempfindungen bei demselben[2]. Ein sicherer Nachweis für diese Vermutung ist freilich ebensowenig wie für die meist mit ihr verbundene Annahme spezifischer Schmerznerven erbracht. Auch würde sich die Tatsache, daß ein starker Reiz an einer Hautstelle im ersten Moment als bloßer Druck empfunden wird, sehr wohl daraus ableiten lassen, daß die in das Rückenmark eingetretenen sensiblen Nervenfasern teils eine durch verhältnismäßig wenige zentrale Elemente unterbrochene, annähernd isolierte Bahn durch die weißen Markstränge einschlagen, teils aber durch Kollateralen mit dem vielverzweigten Fibrillennetz der grauen Substanz in Verbindung stehen, so daß nun die erste dieser Leitungen die Druckempfindung, die zweite, die überhaupt erst bei intensiven Reizen in Anspruch genommen wird, die ihr nachfolgende und sie verhältnismäßig lang überdauernde Schmerzempfindung vermitteln kann[3].

---

[1] BLOCH, Travaux du laboratoire de M. CHERCY, t. 3, 1877, p. 123, t. 4, 1879, p. 259. Vgl. auch die Bd. 1, S. 425 erwähnten Versuche von MACH. Sehr viel kleinere Werte als alle andern Beobachter fand SERGI an den Fingern bis zu 1000 in der Sek. (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 3, 1892, S. 175). Es ist aber zu bedenken, daß bei der von ihm benutzten Methode (mechanische Einwirkung der Schwingungen einer Stimmgabel) Summationen der Nervenerregung (Bd. 1, S. 112) entstehen konnten.

[2] SCHIFF, Physiologie, Bd. 1, S. 251 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 29, S. 537 ff. Bd. 30, S. 199 ff. GOLDSCHEIDER, Gesammelte Abhandlungen, Bd. 1, S. 391 ff.

[3] Vgl. oben Bd. 1, S. 205 ff., sowie die nähere Erörterung dieser Frage in der 4. Aufl. dieses Werkes, Bd. 1, S. 109 ff. Vgl. ferner die Diskussion zwischen NICHOLS, MARSHALL, WITMER und STRONG in der Psychol. Review, vol. 1, 2, 1892—95.

c. Räumliche Ausbreitung und zeitlicher Verlauf der Tasterregungen.

Sowohl die räumliche Ausbreitung der Tastempfindung, wie ihr zeitlicher Verlauf läßt sich nur bei den Druckempfindungen einigermaßen exakt verfolgen, da die Temperatur- und die Schmerzerregungen in beiden Beziehungen einer Beherrschung der äußeren Reize allzu große Schwierigkeiten bereiten. Die räumliche Ausbreitung einer Druckempfindung über eine Hautstelle ist nun naturgemäß in erster Linie von dem Umfang des Druckreizes, in zweiter von der Irradiation desselben über seine Nachbarschaft abhängig. Da sich die erste dieser Bedingungen nach Willkür beliebig verändern läßt, so sind jedoch einigermaßen allgemeingültige Feststellungen nur für annähernd punktuelle Reize und deren Irradiation möglich. Nach den Versuchen von M. von Frey[1] liegt der untere Grenzwert der Reizfläche für die Entstehung einer punktuellen Druckempfindung etwa bei 0,001 mm^2. Unter diesem Wert kommt entweder überhaupt keine Empfindung zustande, oder es entsteht bei tieferem Eindringen des Reizes eine Schmerzempfindung. Nun ist aber auch dieser Reiz von 0,001 mm^2 wegen der Ausbreitung des Drucks auf die Umgebung eine von der Reizstelle als Mittelpunkt in mehr oder minder raschem Gefälle auf 0 herabsinkende Erregung. Die Kurve, in der dieses Sinken stattfindet, kann man als das Druckgefälle bezeichnen. Dasselbe verändert sich in erster Linie mit der Stärke des Druckreizes; sodann aber zeigt es unter sonst gleichen Bedingungen bemerkenswerte Unterschiede bei positiver und bei negativer Druckeinwirkung, wenn wir unter der letzteren eine Verminderung des Drucks durch Aspiration der Luft über der Hautstelle verstehen. Im ersten Fall, bei positivem Druck, ist das Reizgefälle negativ, d. h. der Druck nimmt innerhalb des Irradiationskreises ab; im zweiten Fall ist es positiv, d. h. der objektive Druck nimmt zu. Da aber vermöge der Strukturbedingungen dort der Irradiationskreis kleiner ist als hier, so ergibt sich daraus von selbst, daß unter sonst gleichen Bedingungen die Kurve des Reizgefälles bei positiven Reizen steiler verläuft als bei negativen[2]. Hiermit hängt wohl die eigentümliche, scheinbar qualitative Verschiedenheit der Empfindung bei positiven und negativen Druckreizen zusammen, wie die Tatsache zu beweisen scheint, daß diese Unterschiede bei allmählicher Einschränkung der Reizstelle immer

[1] M. von Frey, Pflügers Archiv, Bd. 59, 1895, S. 601.

[2] von Frey und Kiesow, Zeitschrift für Psychologie und Physiol. der Sinnesorgane, Bd. 20, 1899, S. 146 ff.

kleiner werden. Da hier ebenso die Unterschiede des Druckgefälles abnehmen, so darf man daher annehmen, daß die Druckempfindung bei positiven und negativen Druckreizen an sich identisch ist, und daher jene anscheinend qualitativen Unterschiede der Empfindung nur von dem verschiedenen Druckgefälle herrühren. Ähnliche verändernde Bedingungen für die Irradiation des Druckreizes führen nun aber auch noch andere teils in der objektiven Reizeinwirkung, teils in den Strukturverhältnissen der Haut begründete Verhältnisse mit sich. So muß nach VON FREY ein Druckreiz bei geringerer Geschwindigkeit tiefer in die Haut eindringen als bei schnellerer, um eine Empfindung auszulösen, was sich wiederum aus dem steileren Druckgefälle im letzteren Fall erklärt[1]. Alle diese Beobachtungen bestätigen die Annahme, daß die Druckempfindung selbst überall von gleicher Qualität ist, und daß die unter verschiedenen Bedingungen vorkommenden scheinbaren Qualitätsunterschiede nur von der abweichenden Verteilung der elementaren Reizeinwirkungen in Raum und Zeit herrühren. Die für die Lokalisation der Tasteindrücke besonders wichtigen Strukturunterschiede der einzelnen Hautteile lassen sich wohl hierher zählen, da mit ihnen teils die verschiedene Dichtigkeit der Nervenfibrillen und ihrer Endgebilde teils auch eine verschiedene Irradiation des Reizes zusammenhängt.

Neben der räumlichen Verteilung macht sich nun der zeitliche Verlauf der Druckerregungen nicht bloß darin geltend, daß infolge der Einwirkungsart des äußeren Reizes Abweichungen in der Irradiation desselben entstehen, wie oben erwähnt wurde, sondern auch darin, daß jeder, selbst der möglichst momentane Druckreiz in der die Leitung zum Sinneszentrum vermittelnden Leitungsbahn und in diesem Zentrum selbst einen bestimmten zeitlichen Verlauf besitzt, in welchem die Kurve der Erregung bis zu einer gewissen Höhe ansteigen muß, bei der sie das der zugehörigen Empfindung entsprechende Maximum erreicht, auf dem sie längere Zeit bleibt, um, falls die Reizeinwirkung andauert, erst beträchtlich später infolge der eintretenden Ermüdung wieder zu sinken. Demnach ist die Entstehung einer Empfindung stets ein zeitlicher Vorgang, der gleichzeitig eine physiologische und eine psychologische Bedeutung besitzt, und bei dem die letztere um so mehr im Vordergrund steht, weil wir bei der heutigen Lage der Nervenphysiologie im allgemeinen noch darauf angewiesen sind, auf die physiologischen Verhältnisse erst aus den in der subjektiven Wahrnehmung gegebenen psychologischen nach dem Prinzip des psychophysischen Parallelismus zurückzuschließen. Natürlich hat aber die Lösung dieses Problems des

---

[1] VON FREY, Ber. der Leipziger Ges. d. Wiss. 1896, S. 235.

Anstiegs einer Empfindung auch ein psychologisches Interesse, weil dieses Moment in alle jene äußeren Bedingungen der Einwirkung der Reize eingreift, deren oben gedacht wurde. Hiernach besteht die hier zu lösende Aufgabe darin, daß man den Verlauf einer Empfindung von dem Moment der Einwirkung des Druckes an bis zu dem Punkt, wo die Empfindung die bei diesem Druck nicht weiter überschreitbare Höhe erreicht hat, zu bestimmen sucht. Dies kann an sich sowohl für die Intensität wie für die Qualität der Empfindung geschehen. Da aber, wie uns die obige Betrachtung gezeigt hat, die Druckempfindungen qualitativ gleichförmige Empfindungen sind, so kommt hier bloß das Intensitätsproblem in Frage. Nun kann nach den allgemeinen Prinzipien psychischer Maßbestimmung die Messung einer Empfindung nur dadurch geschehen, daß man sie mit einer andern Empfindung von gegebener Größe vergleicht, und der günstigste Fall solcher Messung ist wieder der, wo beide Empfindungen zur Gleichheit abgestuft werden können. Demnach bestimmt sich die Aufgabe in diesem Fall näher dahin: Nennen wir den Reiz, der die Empfindung, deren Verlauf bestimmt werden soll, hervorbringt, den »Normalreiz«, den andern, der als messendes Hilfsmittel dienen soll, den »Vergleichsreiz«, so beruht nun das ganze Messungsverfahren darauf, daß man während einer zusammengehörigen Versuchsreihe den Normalreiz in seiner Intensität konstant erhält, aber die Dauer seiner Einwirkung variiert, dagegen umgekehrt den Vergleichsreiz in seiner Intensität variiert und in seiner Dauer unverändert erhält. Läßt man nun in jedem Einzelversuch die beiden Reize in dem gleichen, zur Vergleichung günstigsten Intervall aufeinander folgen, so gewinnt man für die Empfindung, deren Verlauf gemessen werden soll, verschiedene durch die Unterbrechung des in seiner Dauer variabeln Normalreizes entstehende Intensitätswerte, deren jeder durch die Vergleichung mit der dem Vergleichsreiz entsprechenden Empfindung festgestellt wird. Auf diese Weise geben daher diese in ihrer Intensität veränderlichen Empfindungen den Maßstab ab für die einzelnen Phasen, die eine Empfindung von bestimmter Intensität bis zum Ende ihres Anstiegs durchläuft. Dieses hauptsächlich von W. WIRTH ausgearbeitete Prinzip der Vergleichung der Zeitphasen des Anstiegs einer Empfindung mit den Endwerten intensiv verschiedener Empfindungen läßt sich am zweckmäßigsten mittels einer geeigneten Modifikation der in Bd. 1, Fig. 160 (S. 674) abgebildeten Druckwage auf den Tastsinn anwenden. Man hat sich dabei nur statt eines einzigen zweier Reizstäbchen zu bedienen, die nahe beieinander sukzessiv in dem für die unmittelbare Vergleichung günstigsten Intervall auf eine Hautstelle einwirken, und deren Druckstärke und Druckdauer durch angemessene Hilfsvorrichtungen genau zu regulieren sind. Man läßt dann in einer

Reihe von Versuchen bald den Normal-, bald den Vergleichsreiz vorangehen, um etwaige Fehler der Zeitlage auszugleichen, und variiert für jeden Zeitwert der Einwirkung des Normalreizes den Vergleichsreiz so lange in seiner Stärke, bis beide Empfindungen einander gleich erscheinen. Wird dies bis zu dem Punkt ausgeführt, wo eine weitere Intensitätszunahme der Empfindung des Normalreizes nicht mehr erfolgt, so erhält man damit die ganze Kurve des Anstiegs von einer wenig über den Zeitwert Null sich erhebenden Größe an, bis zu dem der betreffenden Reizstärke entsprechenden Endwert[1]. Bei Versuchen, die auf diese Weise innerhalb eines Druckgebietes von 58,5—134,2 g stattfanden,

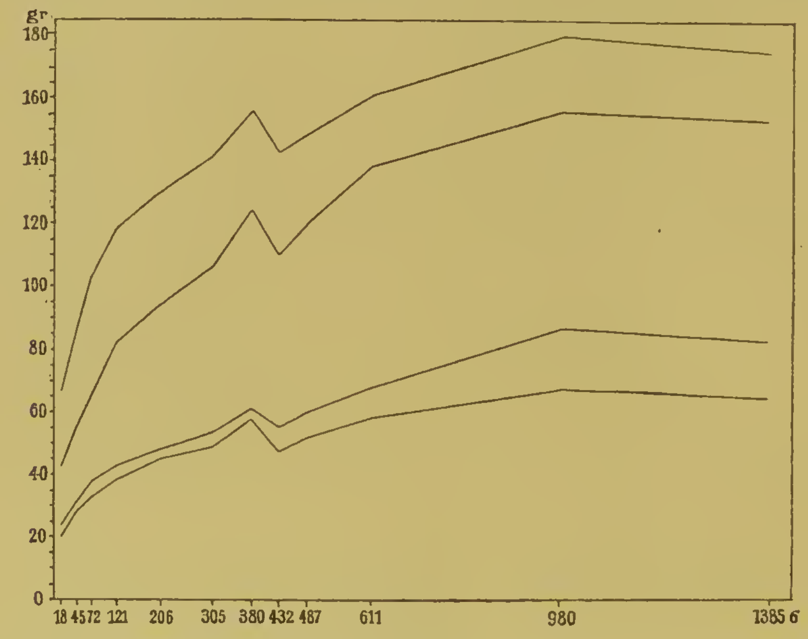


Fig. 162. Zeitlicher Anstieg einer Druckempfindung bei Druckreizen von 58,5 und von 134,3 g.

betrug die Gesamtdauer des Anstiegs etwa 1 Sek. (zwischen 980 und 1385 σ, 1 σ = 0,001 Sek.). Zugleich zeigte der Verlauf innerhalb dieser Zeit Intensitätsschwankungen, so daß er sich als ein oszillatorischer darstellte. Die Fig. 162, in der die beobachteten Größen durch Punkte fixiert und dann diese durch gerade Linien verbunden sind, zeigt deren Verlauf, das untere der beiden Kurvenpaare bei der kleineren, das obere bei der größeren Druckstärke des Normalreizes. Die untere Kurve entspricht jedesmal einer Dauer des Vergleichsreizes von 1 Sek., die obere einer solchen von $^1/_2$ Sek. Der allgemeine Verlauf ist, wie man sieht, in allen Fällen ein ähnlicher, und die Oszillationen liegen innerhalb der angegebenen Grenzen bei verschiedenen Reiz-

[1] Die nähere Beschreibung der Versuchseinrichtung vgl. bei G. F. ARPS, Psychol. Stud. Bd. 4, S. 432 ff.

größen regelmäßig an den gleichen Stellen des Verlaufs. Wir werden sehen, daß diese Erscheinungen eines periodischen Verlaufs, die wahrscheinlich mit den früher erörterten Verhältnissen der Nervenerregung und dem dabei stattfindenden Ineinandergreifen erregender und hemmender Wirkungen zusammenhängen (Bd. 1, S. 105 ff.), in analoger Weise auch bei den Schall- und Lichterregungen wiederkehren (s. unten 3 u. 4). Eigentümlich ist dabei nur für die Druckerregungen die Gleichheit der Dauer bei verschiedener Reizstärke. Doch ist es nicht unwahrscheinlich, daß diese nur innerhalb des verhältnismäßig kleinen Spielraums gilt, in welchem sich die bisherigen Versuche bewegen[1]. Obgleich sie zunächst der physiologischen Seite der Sinneserregungen angehören, sind diese Erscheinungen doch auch psychologisch von Bedeutung. Insbesondere bietet die große Konstanz der Dauer des Anstiegs bei Druckgrößen von mäßiger Stärke und das lange Beharren auf dem erreichten Maximum eine große Gewähr für die Sicherheit, mit der bei längerer Einwirkungsdauer die Eindrücke aufgefaßt werden, ein Vorzug, der vor allem bei der Vergleichung des Druck- und des ihm in dieser Beziehung gleichenden Gehörssinns mit demjenigen Sinnesgebiet zur Geltung kommt, das im Gegensatz zu beiden den schnellsten Anstieg der Erregung bietet: mit dem Gesichtssinn. Indem bei dem letzteren die ungleich rascher zu ihrem Maximalpunkt angestiegene Erregung ebenso unter der Wirkung der sogenannten Ermüdung verhältnismäßig rasch wieder sinkt, ist das Gesicht überall da, wo es sich um eine sichere Wahrnehmung vergänglicher Eindrücke handelt, der überlegenere, dagegen bei länger dauernden Eindrücken der unvollkommenere Sinn, indes das Gehör beide Vorzüge zeitlicher Auffassung in hohem Grade vereinigt.

d. Druck-, Temperatur- und Schmerzpunkte der Haut.

Die geschilderten Erscheinungen, die sich bei den gewöhnlichen, mehr oder minder diffusen und gemischten Erregungen des Tastorgans durch äußere Reize darbieten, differenzieren sich nun in einer für die vier Reizformen charakteristischen Weise, wenn man jeden Reiz möglichst isoliert und räumlich begrenzt, also z. B. einen Temperaturreiz ohne Beimengung von Druck oder Schmerz an einer punktförmigen Stelle der Haut einwirken läßt. Hierbei zeigt es sich nämlich, daß es bestimmte Maximalpunkte der Reizbarkeit für jede

[1] ARPS, a. a. O. S. 454 ff. Bei der messenden Vergleichung von Normal- und Vergleichsreiz können hier selbstverständlich wieder die verschiedenen, im vorangegangenen Kapitel (Bd. 1, S. 546 ff.) besprochenen psychischen Maßmethoden benützt werden. ARPS bediente sich sowohl der Methode der Minimaländerungen wie der mehrfachen Fälle, ohne daß sich zwischen den Ergebnissen wesentliche Unterschiede ergaben (ebend. S. 441 ff.).

der vier Reizformen gibt, die durch minder erregbare Strecken geschieden sind. Man nennt diese Punkte die Druck-, Kälte-, Wärme- und Schmerzpunkte. Unter ihnen sind die Druckpunkte mittels der Reizhaare (Fig. 161, Bd. 1, S. 675) leicht nachzuweisen. Tastet man mit einem solchen verschiedene Punkte einer Hautstelle ab, so verraten sich diese Punkte sofort durch die feinere und örtlich scharf begrenzte Berührungsempfindung. Auch die Schmerzpunkte sind mit etwas steiferen Reizhaaren oder mit einer feinen Nadelspitze leicht aufzufinden. Sie verraten sich dadurch, daß schon ein ganz oberflächlicher Einstich in die Epidermis Schmerz erregt, während die benachbarten Stellen auf den gleichen Reiz unempfindlich sind, oder erst bei tieferem Eindringen der Nadel in das subepitheliale Gewebe Schmerz vermitteln. Die Kältepunkte treten hervor, wenn man mit einer abgestumpften und abgekühlten Metallspitze über die Haut hingleitet. Dann tritt wiederum an einzelnen scharf umgrenzten Punkten blitzartig die Kälteempfindung auf. Am schwierigsten sind die Wärmepunkte aufzufinden. Dies rührt teils davon her, daß der Reiz, z. B. eine erwärmte Metallspitze, länger einwirken muß, teils auch davon, daß die Punkte offenbar weit ermüdbarer sind, indem sehr häufig ein Punkt, der noch eben deutlich mit Wärme reagiert hat, bei Wiederholung der Reizung versagt. Auch ist die Empfindung wie die Reizbarkeit der Wärmepunkte eine etwas diffusere: die Stellen der maximalen Reizbarkeit erscheinen weniger als Punkte denn als kleine Kreise. Neben den Kälte- und Wärmepunkten treten übrigens noch Kälte- und Wärmefelder von einer gewissen Ausdehnung auf, deren Erregbarkeit nicht so groß wie die der Punkte, immerhin aber größer als die der sonstigen Hautstellen ist. Die Lage aller dieser charakteristischen Reizpunkte ist nun innerhalb eines bestimmten Hautgebiets eine ganz konstante: die Punkte, die man einmal aufgefunden und etwa durch Farbe kenntlich gemacht hat, lassen sich Tage und Wochen später wieder in derselben Verteilung konstatieren. Dagegen ist ihre relative Dichtigkeit an den einzelnen Hautstellen eine sehr verschiedene, und sie steht sichtlich mit den spezifischen Tastfunktionen im engsten Zusammenhang. Dies erhellt besonders aus der Verteilung der Druckpunkte, die an den Fingerspitzen dicht gedrängt stehen, dann auch noch über die Hohlhandfläche und den Handballen bis zur Handwurzel zahlreich vorkommen, dagegen am Handrücken und noch mehr am Vorder- und Oberarm sowie an andern wenig zum Tasten benutzten Teilen sehr spärlich werden. Ungefähr umgekehrt verhalten sich, wenn auch nicht im gleichen Verhältnis, die Temperaturpunkte, die gerade da, wo die Druckpunkte am dichtesten sind, sparsamer und dagegen an den weniger druckempfindlichen Körperflächen reichlicher vorkommen; zugleich ist bei ihnen, von wenigen Aus-

nahmen abgesehen, die Lagerung der Kältepunkte eine dichtere als die der Wärmepunkte. Annähernd gleichförmig verbreiten sich endlich die Schmerzpunkte, zugleich aber derart, daß Druck- und Schmerzpunkte einander ausschließen und daher Tastflächen mit sehr vielen Druckpunkten die Schmerzpunkte etwas zurücktreten lassen. Die Fig. 163 gibt einige Beispiele nach den Beobachtungen von PAUL BADER, die diese Verhältnisse erkennen lassen[1]. Unter ihnen veranschaulichen *A*—*D* die Unterschiede zwischen Volar- und Dorsalfläche am Vorderarm und zwischen den der Hand näheren und den von ihr entfernteren Empfindungsflächen. Die Volarfläche zeichnet sich durch das Übergewicht der Kälte- über die Wärmepunkte aus, während auf der Dorsalfläche beide mehr gleichförmig verteilt sind; auch kommen fast nur an der ersteren Kälte- und Wärme-

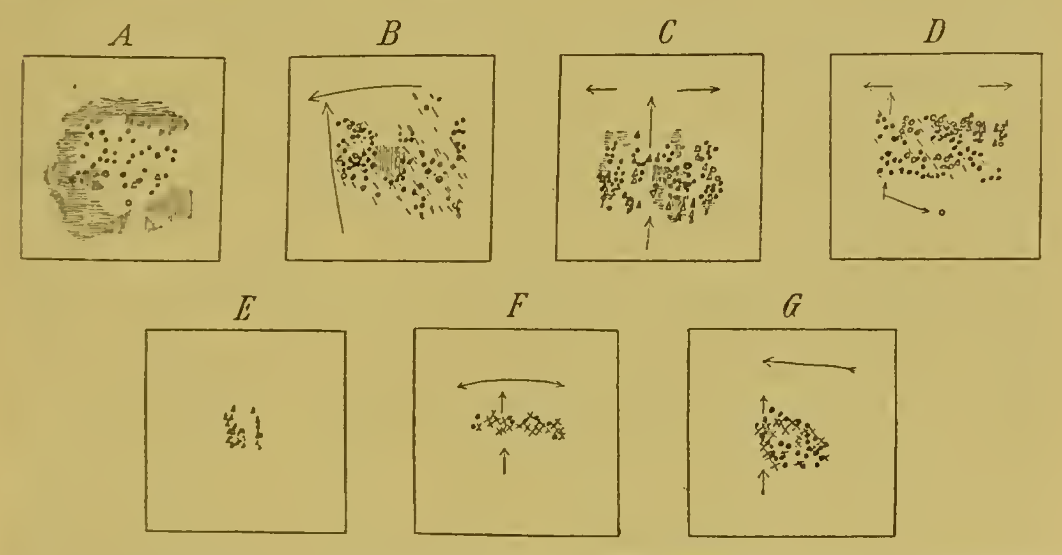


Fig. 163. Reizpunkte: • • • Kältepunkte, ○ ○ ○ Wärmepunkte, △ △ △ Druckpunkte, ÷ + ÷ Schmerzpunkte. ☰ Kältefelder, ||| Wärmefelder. *A*, *C* Volarfläche, *B*, *D* Dorsalfläche des linken Unterarms, nahe der Handwurzel. ← Handwurzelfurche, ↑ Medianlinie. *E* Druckpunkte einer kleinen Stelle in der Mitte des Handballens der linken Hand. *F*, *G* Schmerz- und Kältepunkte einer ebensolchen Stelle an der Volar- und Dorsalseite der Handwurzel (←, ↑ wie oben).

felder vor. Die Vergleichung von *A* und *C* zeigt ferner die Vermehrung der Druckpunkte mit der Annäherung an die Hand. Die starke Zunahme der letzteren an den eigentlichen Taststellen zeigt Fig. 163 *E*. Die überall sehr dichte Lagerung der Schmerzpunkte, die in den übrigen Feldern hinweggeblieben sind, ist endlich aus *F* und *G* zu ersehen.

Im übrigen scheint das numerische Verhältnis der Druck-, Kälte- und Wärmepunkte, abgesehen von den durch besonderen Reichtum an Druckpunkten ausgezeichneten Tastorganen, wie den Fingerspitzen, über-

[1] PAUL BADER, Phil. Stud. Bd. 18, S. 432 ff. (Tafel X).

all in dem Sinne ein ziemlich konstantes zu sein, daß die Druckpunkte voranstehen, nach ihnen die Kälte- und zuletzt die Wärmepunkte kommen. So schätzt VON FREY die durchschnittliche Zahl von Druckpunkten auf 1 qcm Hautfläche auf 25, SOMMER die der Kältepunkte auf 12—13, der Wärmepunkte auf 1—2 [1].

Wie durch »adäquate«, das heißt durch die infolge der Lebensbedingungen normalerweise die Empfindungen erzeugenden Reize, so können nun auch durch die früher (Bd. 1, S. 421) erwähnten allgemeinen Nervenreize die Druck- und Temperaturempfindungen entstehen, wobei freilich zu bedenken ist, daß für die Druckpunkte der mechanische Druck zugleich adäquater Reiz ist, während für die Schmerzpunkte wohl überhaupt die sämtlichen allgemeinen Nervenreize als »adäquate« angesehen werden können. So bleibt, nach Ausscheidung der letzteren Punkte, wesentlich nur der elektrische Strom, namentlich in der Form der faradischen Reizung, als der für die drei spezifischen Druck-, Kälte-, Wärmepunkte gemeinsame »nicht-adäquate« Reiz übrig. Er wirkt in der Tat auf alle drei Punkte erregend, am wenigsten auf die Wärmepunkte. Die Empfindungen, die er erzeugt, sind aber qualitativ etwas abweichend von den Wirkungen der gewöhnlichen Reize, insofern sie von einem eigentümlichen Schwirren begleitet sind, das offenbar von den rasch einander folgenden Stromstößen herrührt. Die Kälte- und Wärmepunkte sind ferner auch durch mechanische Reize erregbar: doch gilt das wieder hauptsächlich für die Kältepunkte, während die Wärmepunkte hier noch weit unsicherer ansprechen als auf den elektrischen Strom, wie sie denn besonders für inadäquate Reize rasch ermüden. Bei den Temperatur-, und besonders bei den Kältepunkten kommen endlich zu diesen Wirkungen der allgemeinen Nervenreize noch zwei weitere Erscheinungen, welche die Auffassung derselben als streng voneinander zu sondernder spezifischer Reizpunkte überhaupt fragwürdig machen. Prüft man nämlich einen Punkt, der sich auf dem gewöhnlich eingeschlagenen Weg als ein empfindlicher Kältepunkt herausgestellt hat, mit Temperaturreizen, die allmählich zu höheren und höchsten Temperaturen übergehen, so stellt sich folgendes heraus: nachdem die Empfindung die Stadien eisig, kalt und kühl durchlaufen hat, kommt zunächst ein solches, bei dem sie warm oder auch unbestimmt ist, also zwischen beiden Gegensätzen in der Mitte liegt. Dann aber geht sie bei noch weiterer Steigerung der Temperatur wieder in eine deutliche Kälteempfindung über. Diese bei 40° C oder schon etwas vorher eintretende Kälteempfindung durch Wärme wird schließ-

[1] VON FREY, Sitzungsber. der physik.-med. Ges. zu Würzburg, 1899. SOMMER, ebend. 1901. Für die gesamte Hautfläche schätzt SOMMER die Zahl der Kältepunkte auf $^1/_2$ Million, die der Wärmepunkte auf 30,000. Doch sind diese Zahlen natürlich sehr unsicher.

lich bei den höchsten Temperaturen von 70° C und darüber durch eine Schmerzempfindung abgelöst, welche die Temperaturkomponente gänzlich verdecken kann. Zur Unterscheidung von den gewöhnlichen Empfindungen der Kältepunkte kann man die durch schwächere Wärmereize entstehende Wärmeempfindung derselben als konträre, die durch starke Wärmereize ausgelöste Kälteempfindung mit VON FREY als paradoxe Empfindung bezeichnen[1]. Ein Analogon zu dieser paradoxen Kälteempfindung, eine Wärmeempfindung durch Kälte, ist an den Wärmepunkten nicht nachzuweisen; wohl aber die konträre Empfindung, indem in einzelnen Fällen bei Reizung mit Temperaturen unter dem Nullpunkt (—5 bis —13°) eine Kälteempfindung auftritt, die deutlich an den Wärmepunkt selbst gebunden, nicht etwa durch Verbreitung der Temperatur auf benachbarte Kältepunkte verursacht ist. Doch sind die konträren Empfindungen überhaupt minder intensiv als die adäquaten: sie überschreiten an den Kältepunkten nie das Gebiet der Warm-, bei den Wärmepunkten das der Kühlempfindung. Immerhin erhellt aus diesen Erscheinungen, daß ebensowohl die Wärmepunkte unter geeigneten Bedingungen mit kalt, wie die Kältepunkte mit warm reagieren können, während die Kältepunkte allein außerdem noch auf bestimmte höhere Temperaturen jenseits dieser, ihrer gewöhnlichen Qualität widerstreitenden Wärmeempfindungen wieder mit Kälteempfindungen antworten. Daraus ist zu schließen, daß zwar der Begriff des Temperaturpunktes, nicht aber eigentlich der des Kälte- und des Wärmepunktes eine feste, derjenigen der Druck- und der Schmerzpunkte analoge Bedeutung hat. Vielmehr kann wahrscheinlich jeder Temperaturpunkt sowohl Kälte- wie Wärmeempfindung vermitteln. Bei Temperaturen, die nur wenig von der Eigenwärme der Haut abweichen, sind jedoch gewisse Punkte für Kälte-, andere für Wärmeempfindungen adaptiert; und außerdem sind offenbar die Kältepunkte diejenigen Reizpunkte, die am schnellsten und sichersten auf irgendwelche Temperaturreize reagieren, und die bei stärkeren Reizen jeder Art Kälteempfindungen erregen.

Alle diese Verhältnisse weisen darauf hin, daß an bestimmten Punkten entweder die Hautnerven selbst oder bestimmte Endorgane, aus denen sie entspringen, eine für die Einwirkung spezifischer Reize besonders günstige Lage besitzen. Bei den Druckpunkten liegt in der Tat eine solche Beziehung so nahe, daß in dieser Hinsicht kaum ein Zweifel obwalten kann. Druckpunkte sind in erster Linie die Stellen der Tastkörper: in Verbreitung und Dichtigkeit der Anordnung gehen beide ein-

[1] KIESOW, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 145. (Konträre Warmempfindungen.) M. VON FREY, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1895, S. 172. (Paradoxe Kälteempfindung.)

ander vollkommen parallel (Bd. 1, S. 458). An den behaarten Stellen des Körpers treten dann, wie früher erwähnt, die Nervengeflechte der Haare an ihre Stelle (Bd. 1, S. 55). Wie übrigens in diesen ein dichtes Fibrillennetz mit nur spärlich sich findenden Nervenendzellen der Epidermis (MERKELs Menisken) eine dem Tastkörper äquivalente Einrichtung darstellt, so ist nicht zu vergessen, daß auch die nach ihrer Lage den Tastkörpern entsprechenden Druckpunkte nur Maxima der Druckempfindlichkeit bezeichnen, und daß an Stellen, die unbehaart sind, und an denen die nachweisbaren Druckpunkte weit voneinander entfernt liegen, wie an der Dorsalfläche von Hand und Fuß, an manchen Stellen des Rumpfes, überall auch an den zwischenliegenden Punkten eine diffuse Druckempfindlichkeit existiert, die man wohl auf das Fibrillennetz in den oberflächlichen Schichten der Epidermis zurückbeziehen muß (Bd. 1, S. 454, Fig. 122). Als den Tastkörpern verwandte Gebilde sind endlich die KRAUSEschen Endkolben zu betrachten: sie finden sich an Körperstellen, die, wie die Conjunctiva des Auges, die Glans penis, auf punktuelle Eindrücke anscheinend unempfindlich sind, dagegen auf die Berührung mit stumpfen, flächenhaft ausgebreiteten Reizen und besonders auf leichte streichende Berührungen, ähnlich wie manche sonst wenig empfindliche Stellen der äußeren Haut, lebhaft mit Kitzelempfindungen reagieren. So bestätigen die physiologischen Tatsachen durchaus die durch die anatomischen Verhältnisse nahe gelegte Vermutung, daß die druckperzipierenden Elemente des Tastorgans die Endfibrillen selbst, und daß die besonderen Anhangsgebilde der Tastnerven, Tastkörper, Haargeflechte und Endkolben, nur Veranstaltungen sind, welche die Einwirkung der Druckreize, und namentlich gewisser Formen derselben erleichtern. (Vgl. oben Bd. 1, S. 460 ff.) Dabei besitzen aber die Endkolben ebenso wie die der besonderen Endgebilde ganz entbehrenden Fibrillennetze der Haut offenbar eine relativ geringe Empfindlichkeit, so daß es einer größeren räumlichen Ausdehnung der Berührungsreize bedarf, um Empfindungen auszulösen. Hieraus erklärt sich wohl auch in diesem Fall der scheinbare Qualitätsunterschied der Empfindungen, der nicht sowohl auf einem wirklichen Qualitätsunterschied, als auf der verschiedenen räumlichen und, wie besonders bei dem Kitzel, zugleich auf den zeitlichen Verhältnissen der Reize und der von ihnen ausgehenden Miterregungen beruhen dürfte.

Wie die Druckpunkte, so lassen die Schmerzpunkte ohne Schwierigkeit eine anatomische Interpretation zu. Ihre dicht gedrängt oberflächliche Lage weist unmittelbar auf das Fibrillennetz zwischen den Epidermiszellen hin. Auch steht die Annahme, daß diese Fibrillen Schmerzempfindungen vermitteln, mit der anderen, daß sie zugleich die Substrate der überall anzutreffenden diffusen Druckempfindungen seien,

nicht im Widerspruch, da ja die Reizeinwirkungen hier wie dort wesentlich andere sind. Die Druckempfindung entsteht infolge von Deformationen der Haut: über den Tastkörpern können aber räumlich äußerst beschränkte, punktförmige Deformationen diese Empfindung auslösen, da die Tastkörper selbst in der Tiefe liegen, während über ihnen das epidermoidale Fibrillennetz größere Maschen bildet, so daß Druck- und Schmerzpunkte niemals zusammenfallen. An Stellen, die Schmerz-, aber keine Druckpunkte führen, ist dagegen stets eine doppelte Art der Reizung möglich: eine punktuelle, stichartige, die aller Wahrscheinlichkeit nach direkt eine Fibrille verletzt und so die Schmerzempfindung bewirkt; und außerdem eine ausgebreitetere, die nur die Haut deformiert und, bei relativ hoher Reizschwelle, eine diffuse Druckempfindung erzeugt. Für diese Einerleiheit sogenannter Druck- und Schmerznerven spricht noch eine weitere Tatsache: über den Druckpunkten fehlen, wie bemerkt, die Schmerzpunkte; wenn man jedoch an der Stelle eines Druckpunktes mit einer Nadel so weit in die Tiefe sticht, daß der im subepithelialen Gewebe liegende Tastkörper getroffen wird, so empfindet man Schmerz. Dieser kann aber in solchem Fall kaum anderswo entstehen als im Nervengeflecht des Tastkörpers selbst.

Weit unsicherer steht es mit der Frage nach der Bedeutung der Temperaturpunkte. Anatomische Substrate derselben sind nicht aufgefunden (vgl. Bd. 1, S. 461 ff.). Aber auch die oben erörterten physiologischen Verhältnisse lassen die Deutung dieser Punkte als spezifischer Organe zweifelhaft. Da mindestens in vielen Fällen ein sogenannter Kältepunkt unter besonderen Bedingungen Wärmeempfindung, und umgekehrt ein Wärmepunkt die Empfindung des Kühlen vermittelt, so könnte man ursprünglich indifferente Temperaturorgane annehmen, die sich zwar im allgemeinen verschieden differenziert hätten, bei denen aber gleichwohl Spuren jener einst doppelseitigen Funktion zurückgeblieben wären. Doch würde das andere Erscheinungen, wie die paradoxe Kälteempfindung bei starken Wärmereizen, kaum begreiflich machen. Nun wurde schon früher jener Kälteempfindungen im Fieberfrost gedacht, die durch vasomotorische Effekte ohne begleitende Temperaturreize, oder manchmal bei Temperaturänderungen von entgegengesetzter Richtung entstehen (Bd. 1, S. 461). Vergleicht man ferner die Erscheinungen, welche die Kälte- und Wärmepunkte unter verschiedenen Bedingungen darbieten, mit den Eigenschaften der gefäßverengernden und gefäßerweiternden Nerven, so zeigt der Verlauf dieser Reizungsvorgänge überraschende Beziehungen, wenn man Kältereizung und Gefäßverengerung, Wärmereizung und Gefäßerweiterung als die einander korrespondierenden Prozesse ansieht. Die Gefäßkontraktion tritt auf den geeigneten Reiz fast

momentan, blitzartig ein, um verhältnismäßig rasch wieder zu verschwinden; die Erweiterung folgt langsamer und verschwindet allmählicher. Dadurch kann es kommen, wie man an der Schwimmhaut des Frosches unter dem Mikroskop beobachtet, daß ein auf die Gefäßnerven einwirkender elektrischer oder mechanischer Reiz zunächst Kontraktion bewirkt, worauf dann nach einiger Zeit die Dilatation nachfolgt. Auch hier läßt es sich übrigens leicht konstatieren, daß die Kälte ein besonders wirksamer Reiz für die Konstriktoren, die Wärme ein ebensolcher für die Dilatatoren der Gefäße ist. Die Nerven aber, die die Gefäßmuskeln in dieser entgegengesetzten Weise innervieren, haben erwiesenermaßen einen verschiedenen Ursprung und Verlauf, so daß jedenfalls auch noch in der Peripherie des Körpers vasomotorische Nerven von entgegengesetzter Funktion einander gegenüberstehen [1]. Bei der Kälte- und Wärmereizung der Haut oder sonstiger gefäßhaltiger Organe sieht man daher teils durch direkte Wirkung der Reize auf die Gefäßmuskeln, teils aber auch vermittelt durch die Gefäßnerven bei der Kälte Verengerungen, bei der Wärme Erweiterungen des Gefäßlumens eintreten. Insofern die Konstriktoren vorzugsweise durch Kälte, die Dilatatoren durch Wärme erregbar sind, liegt also hier allerdings eine spezifische Wirkung vor. Dabei bilden aber diese Formen spezifischer Reizbarkeit zugleich einen Gegensatz, der durchaus dem der Temperaturempfindungen selbst entspricht. Nimmt man demnach an, die Temperaturempfindungen entstünden nicht durch die Reizung besonderer Wärme- oder Kälteorgane, sondern durch die Rückwirkungen, welche die vasomotorischen Innervationen durch Ab- oder Zunahme des Blutzuflusses zu den Nervenverzweigungen der Haut hervorbringen, so würden die beiden Temperaturerregungen als einfachste und zugleich gegensätzliche Formen chemischer Reizung zu deuten sein. Denn die Kälteerregung entspräche dann der plötzlichen Hemmung, die Wärmeerregung der Steigerung der im übrigen normal ablaufenden chemischen Nervenprozesse. Die Temperaturpunkte würden aber nach dieser Hypothese diejenigen Stellen der Haut sein, an denen vasomotorische Nervenfasern einer bestimmten Gattung, die Konstriktoren an den Kälte-, die Dilatatoren an den Wärmepunkten, äußeren Reizen besonders leicht zugänglich sind.

Zur Nachweisung und näheren Prüfung des Verhaltens der Temperaturpunkte bedient man sich am zweckmäßigsten hohler Metallzylinder mit abge-

---

[1] Eine Zusammenstellung der physiologischen Ermittelungen über Verlauf und Wirkungsweise der Konstriktoren und Dilatatoren, deren Feststellung die Physiologie namentlich den Forschungen von CL. BERNARD, BROWN SÉQUARD, SCHIFF und LUDWIG verdankt, gibt TIGERSTEDT, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 1, 1897, S. 207 ff.

stumpfter Spitze, die mit einem Thermometer versehen und von Wasser von konstanter Temperatur durchströmt sind[1]. Zur Nachweisung der Druck- und der Schmerzpunkte ist, außer den Reizhaaren, besonders auch die unipolare faradische Reizung (mit Ableitung des andern Pols zur Erde) geeignet[2]. Doch ist dabei zu beachten, daß es für Druck empfindliche Flächen gibt, wie z. B. die Cornea, die Conjunctiva bulbi, die nicht durch Reizhaare, wohl aber durch leise flächenhafte Berührung Empfindungen vermitteln[3], und daß solche Stellen der Haut, an denen zwar keine oberflächlichen Schmerzpunkte vorkommen, wo aber bei tieferem Einstechen mit der Nadel Schmerz auftritt, von den ganz analgetischen Punkten wohl zu unterscheiden sind. Die letzteren nehmen auf der Haut selbst nur sehr kleine Strecken ein. Eine größere analgetische Fläche findet sich aber, wie F. Kiesow[4] nachwies, in der Wangenschleimhaut. Diese Stelle zeigt gleichwohl Druck- und Temperaturempfindungen. Dabei sind jedoch die Druckempfindungen, wie mir scheint, durch die Fortpflanzung des Drucks dieser bekanntlich sehr deformierbaren Stelle auf die äußere Wangenhaut verursacht.

Blix und Goldscheider, die zuerst die Druck-, Temperatur- und Schmerzpunkte der Haut beschrieben[5], haben auch bereits die Verbreitung dieser Punkte über die verschiedenen Stellen des Tastorgans ermittelt, und in den wesentlichsten Beziehungen sind diese Ergebnisse durch die späteren Beobachter bestätigt worden. Danach ist der Wärmesinn überall intensiv und extensiv geringer entwickelt als der Kältesinn; beide werden wieder übertroffen durch den Schmerzsinn, dessen Punkte überall ziemlich gleich dicht gelagert sind, und an den spezifischen Tastorganen durch den Drucksinn. Die Verteilung der drei Arten von Punkten ist im allgemeinen eine radienförmig der Ausstrahlung der Nervenzweige folgende. Sehr häufig sind die Haarwurzeln die Mittelpunkte der Radien. Die Temperaturempfindlichkeit ist ferner an Augenlid, Stirn, Wange, Kinn am größten, kleiner an Brust, Bauch, Arm, Hand, am kleinsten am Unterschenkel und Fuß; und durchweg ist die Temperaturempfindlichkeit an der Eintrittsstelle eines sensiblen Nerven größer als in der Peripherie seines Verbreitungsbezirks. Hieraus folgt, daß im allgemeinen der Temperatursinn der Extremitäten zunimmt mit der Annäherung an den Rumpf, im Gegensatz zu dem Drucksinn, dessen Punkte an den durch feineren Ortssinn ausgezeichneten Stellen, wie an den Finger- und Zehenspitzen, am dichtesten angeordnet sind. Schwache mechanische und elektrische Reize bringen endlich nicht bloß an den Temperatur- oder Druckpunkten selbst die spezifischen Empfindungen hervor, sondern es kann auch bei schwacher Reizung der Nervenstämme, wie des Nervus ulnaris, der Handnerven, eine periphere Ausstrahlung von Temperatur-, namentlich Kälteempfindungen, und

---

[1] F. Kiesow, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 589. Weitere Methoden vgl. bei Alrutz, Skandin. Archiv für Physiol., Bd. 7, 1897, S. 323, und Thunberg, ebend. Bd. 11, 1901, S. 385 ff.

[2] M. von Frey, Ber. der Ges. der Wiss. zu Leipzig. Math.-phys. Kl. 1894, S. 290. 1896, S. 261 ff.

[3] Nagel, Pflügers Archiv, Bd. 59, 1895, S. 563 ff.

[4] Kiesow, Philos. Stud. Bd. 14, S. 567.

[5] A. Goldscheider, Archiv für Physiologie, 1885, S. 86 f. Suppl. S. 1, 189, 473 ff. (Ges. Abhandl. Bd. 1, 1898.) Magnus Blix, Zeitschr. f. Biologie, Bd. 20, 1885, S. 141 ff. Bd. 21, S. 145 ff. (Schwedisch 1883 erschienen.)

von Druckempfindungen beobachtet werden. In der Beschränkung der erhöhten Empfindlichkeit für Druckreize auf annähernd punktuelle Hautstrecken hat wohl die eigentümliche Empfindung des »körnigen«, die GOLDSCHEIDER bei den Druckpunkten hervorhebt, ihren Grund. Es dürfte das aber kaum zureichen, ihnen deshalb mit diesem Beobachter eine spezifische Qualität zuzuschreiben. Alles spricht vielmehr dafür, daß die sogenannten Druckpunkte lediglich solche Stellen sind, an denen durch besondere Hilfsapparate den Tastnerven ein höherer Grad von Druckempfindlichkeit verliehen wird. Die Kenntnis des Verhaltens der verschiedenen Reizpunkte gegen qualitativ und intensiv abweichende Reize ist weiterhin namentlich durch die Arbeiten von M. VON FREY[1] und KIESOW[2], die der Temperaturpunkte durch die von ALRUTZ[3] und THUNBERG[4] gefördert worden. VON FREY entdeckte die paradoxe Kälteempfindung und bestätigte die oberflächliche Lage der Schmerzpunkte, die schon BLIX veranlaßt hatte, für diese Punkte auf die Annahme spezifischer Endorgane zu verzichten. KIESOW fand sodann die konträren Temperaturempfindungen, die freilich ALRUTZ wiederum für streng punktförmige Kältereize leugnete. Anderseits wiesen aber ALRUTZ und THUNBERG nach, daß die paradoxe Wärmeempfindung keine bloß sporadisch vorkommende, sondern eine wahrscheinlich allen Kältepunkten zukommende Eigenschaft ist. Beide verfolgten außerdem die Verbindungen der Temperaturempfindungen mit Schmerzempfindungen und die bei hohen Temperaturen zu beobachtenden »Hitzeempfindungen«, die ALRUTZ als Verbindungen von Warm- und Kaltempfindungen auffaßt. Auch machte derselbe darauf aufmerksam, daß bei der Reizung mit sehr niedrigen Kältegraden neben der Schmerzempfindung eine Hitzeempfindung entsteht, welche von der durch sehr hohe Wärmegrade erzeugten kaum zu unterscheiden ist. ALRUTZ und THUNBERG glauben die abweichende Reaktionsweise auf Kälte- und Wärmereize aus einer tieferen Lage der Wärmepunkte erklären zu können. Aber diese Annahme würde höchstens über die längere Dauer, die zwischen Reiz und Empfindung verfließt, nicht über die anderen Unterschiede, wie die leichte Ermüdbarkeit, die geringere Erregbarkeit durch inadäquate Reize, und ebensowenig natürlich über die konträren und paradoxen Erregungen Rechenschaft geben. Überhaupt läßt sich nicht verkennen, daß die Voraussetzung, jeder der vier Empfindungsqualitäten des Tastorgans müsse auch ein spezifisches, räumlich streng geschiedenes Endorgan entsprechen, von Anfang an vielfach die Unbefangenheit der Untersuchungen auf diesem Gebiete getrübt hat. Es war ja im allgemeinen begreiflich, daß die Entdeckung der Reizpunkte, indem sie die Lehre von den spezifischen Energien auch bei dem Hautsinnesorgan zu bestätigen schien, jene Voraussetzung unterstützte. Dadurch kam es aber, daß man nun auch dann noch die ausschließliche Empfindungsqualität der Reizpunkte wie ein unantastbares Dogma betrachtete, als die Tatsachen damit nicht mehr vereinbar waren. So hielten GOLDSCHEIDER und die meisten seiner Nachfolger strenge daran fest, daß

[1] M. VON FREY, Abhandl. der sächs. Ges. der Wiss. Bd. 23, 1896, S. 175. Berichte derselben, 1894—97.

[2] KIESOW, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 135. Bd. 14, 1898, S. 567, 589. VON FREY und KIESOW, Zeitschr. f. Psychologie, Bd. 20, 1899, S. 126.

[3] ALRUTZ, Skandin. Archiv f. Physiol., Bd. 7, 1897, S. 321. Bd. 10, 1900, S. 340.

[4] THUNBERG, ebend. Bd. 11, 1901, S. 382.

die Endorgane selbst nur durch die adäquaten Reize erregbar seien. Wenn Kälte- und Wärmeempfindungen mechanisch oder elektrisch erregt werden, so sei dies daher auf eine Reizung der spezifischen Kälte- oder Wärmenerven zurückzuführen[1]. Daß die Erfahrung dem direkt widerstreitet, indem sie die Kälte- und Wärmepunkte selbst als die auch durch inadäquate Reize erregbaren erweist, hat THUNBERG mit Recht bemerkt[2]. Nicht minder ließ GOLDSCHEIDER die von HERING hervorgehobene Bedeutung der Eigenwärme der Haut als eines Indifferenzpunktes der Temperaturempfindungen nicht gelten, sondern kehrte wieder zu der von E. H. WEBER vertretenen, allerdings mit der Existenz fester Temperaturorgane leichter zu vereinigenden Annahme zurück, daß Steigen und Sinken der Wärme die unmittelbaren Temperaturreize seien[3]. Endlich die Erscheinungen der konträren und der paradoxen Empfindung suchte man durchweg auf die Reizung benachbarter Punkte von entgegengesetzter Qualität zurückzuführen, obgleich dies, wie bereits M. VON FREY speziell für die paradoxe Empfindung hervorhob, in einzelnen Fällen nach der Verbreitung der wirklich nachweisbaren Reizpunkte vollkommen ausgeschlossen ist. Da übrigens die paradoxe Erregung als eine wahrscheinlich allen Kältepunkten zukommende, also normale Erscheinung angesehen werden darf, so ist darin schon ausgesprochen, daß sie an sich durchaus nicht paradox ist, sondern daß sie sich eben nur paradox ausnimmt, so lange man Voraussetzungen macht, mit denen sie nicht übereinstimmt, und die also eigentlich durch sie widerlegt werden. Auch das Streben, die einzelnen Empfindungsqualitäten auf die verschiedenen anatomischen Endigungsformen der Hautnerven zurückzuführen, hat sichtlich vielfach die Unbefangenheit der Beobachtungen und der aus ihnen gezogenen Schlüsse getrübt. So ist es zweifellos richtig, daß die Tastkörper und Haarwurzeln Stellen feinster Druckempfindlichkeit sind; aber daß die Hautpunkte, die dieser Gebilde entbehren, überhaupt keine Druckempfindlichkeit besitzen, oder daß ihre Empfindungen aus der Fortpflanzung des Drucks zu jenen Endorganen abzuleiten seien, ist mindestens eine sehr zweifelhafte Annahme[4]. Überdies entbehrt weder die Conjunctiva des Auges, in der Endkolben, aber keine Tastkörper, noch die Cornea, in der überhaupt nur freie Terminalnetze vorkommen, der Druckempfindlichkeit, wie dies schon WALTER[5], DONALDSON[6] und DESSOIR[7] übereinstimmend hervorhoben. Wenn VON FREY bei der Berührung dieser Teile mit Reizhaaren dieselben unempfindlich fand, so dürfte sich dies daraus erklären, daß sie, ebenso wie die der Druckpunkte entbehrenden Stellen der äußeren Haut, räumlich ausgedehnterer Reize bedürfen. Die Einwirkung eines Reizhaares bleibt dagegen in diesem Fall wirkungslos, weil an solchen unempfindlicheren Teilen der punktuelle Druckreiz bereits Schmerzempfindungen auslöst, ehe Druckempfindungen entstehen können. Auch die Kronen der

---

[1] GOLDSCHEIDER, Ges. Abh. Bd. 1, S. 118 ff.
[2] THUNBERG, Skandin. Archiv f. Physiol., Bd. 11, S. 429.
[3] GOLDSCHEIDER, a. a. O. S. 103.
[4] GOLDSCHEIDER, a. a. O. S. 80. VON FREY, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1897, S. 466.
[5] WALTER, Über die Sensibilitätsverhältnisse der menschlichen Cornea. Diss. Erlangen, 1878.
[6] DONALDSON, Mind, vol. 10, 1885, p. 399.
[7] DESSOIR, Archiv für Physiologie, 1892, S. 175.

Zähne vermitteln sowohl Druck- wie Wärme- und Kälteempfindungen, und zwar unter Versuchsbedingungen, bei denen für die ersteren wahrscheinlich, für die letzteren sicher eine Beteiligung des Zahnfleisches ausgeschlossen ist, so daß hier die Zahnpulpa selbst als der empfindende Teil angesehen werden muß[1]. Wenn dagegen von Frey[2] auf das bestimmteste sich überzeugte, daß die Cornea die ihr ebenfalls zugeschriebene Temperaturempfindlichkeit nur nahe ihren Randteilen besitzt, wo eine Fortpflanzung der Reizung auf die Conjunctiva anzunehmen ist, so würde das mit der vasomotorischen Hypothese gut übereinstimmen, da die Cornea der Blutgefäße entbehrt. Ist die Beschränkung der Druckempfindung auf Tastkörper und Haarbälge undurchführbar, um so mehr, da ja die völlig abweichenden morphologischen Eigenschaften beider an sich schon der Annahme spezifischer Endgebilde widersprechen, so sind auf der andern Seite alle Bemühungen, spezifische Wärme- und Kälteorgane aufzufinden, bis jetzt vergeblich gewesen. M. von Frey vermutete solche in den Endkolben, da dieselben in Conjunctiva und Glans penis vorkommen, die beide eine hohe Reizbarkeit für Kälte und Wärme zeigen[3]. Da jedoch an zahlreichen andern temperaturempfindlichen Stellen sowohl der äußeren Haut wie der Schleimhäute die Endkolben fehlen, so ist diese Annahme nicht zu halten, und es hat die Annahme W. Krauses jedenfalls die größere Wahrscheinlichkeit für sich, daß jene Gebilde, wie sie morphologisch den Tastkörpern verwandt sind, so auch funktionell zu der qualitativ eigenartigen Druckempfindlichkeit der Teile in Beziehung stehen. Nach allem dem darf man wohl vermuten, daß es bis jetzt deshalb nicht möglich war, spezifische Endorgane des Temperatursinnes aufzufinden, weil solche überhaupt nicht existieren.

e. Innere Tastempfindungen.

Neben den Druck- und Temperaturempfindungen sind in einem weiteren Sinne dem Gebiete des Tastsinns auch diejenigen Empfindungen zuzurechnen, die sich mit den Bewegungen der äußeren Körperteile verbinden. In der Regel wirken bei der Tätigkeit der Tastorgane diese *inneren Tastempfindungen* mit den bei der Berührung der Gegenstände entstehenden äußeren Druck- und Temperatureindrücken zusammen und tragen auf solche Weise wesentlich bei zu den Vorstellungen, die wir uns von der physischen Beschaffenheit der Körper bilden. Auch sie bieten qualitative Unterschiede dar, die aber nur zum geringsten Teil auf der Differenz der Empfindungsqualitäten selbst, zumeist vielmehr auf der verschiedenen räumlichen und zeitlichen Kombination qualitativ wenig verschiedener, jedoch in ihrer Intensität mannigfach abgestufter Empfindungen beruhen. Wir betrachten auch hier zunächst wieder die *subjektiven* Eigenschaften dieser Empfindungen in ihrer Beziehung zu den allgemeinen Leistungen dieses Sinnesgebiets, um dann erst der an sich

[1] J. Steiner, Physiol. Zentralblatt, Bd. 15, 1902, Nr. 20.
[2] von Frey, Leipziger Sitzungsber. 1895, S. 179.
[3] A. a. O. S. 181.

davon ganz unabhängigen Frage nach den objektiven physiologischen Substraten derselben näher zu treten.

Nun sind die äußeren Muskelbewegungen des Körpers diejenigen Funktionen, deren Begleiterscheinungen die inneren Tastempfindungen regelmäßig bilden, sobald nur die Bewegungen selbst uns bewußt werden, mögen nun diese im übrigen Willenshandlungen oder aber automatische, reflektorische oder selbst passive, einzelnen Körperteilen von außen mitgeteilte Bewegungen sein. Diese Beziehung zur Bewegung ist es, wegen deren man die inneren Tastempfindungen auch »kinästhetische Empfindungen« genannt hat[1], — ein Ausdruck, der übrigens aus zwei Gründen unzweckmäßig ist: einmal weil er die Meinung erweckt, daß mit der Empfindung unmittelbar auch schon die Wahrnehmung der Bewegung gegeben sei, und sodann, weil die Bewegungsempfindung unter allen Umständen selbst erst ein aus mehreren elementaren Empfindungen zusammengesetztes Produkt ist.

Zerlegt man nämlich irgend eine Muskelwirkung in die Faktoren, die, weil sie sich unabhängig voneinander verändern können, auch in der Empfindung als relativ unabhängige Elemente erkennbar sind, so ergeben sich als solche Faktoren zunächst diejenigen, die mit dem mechanischen Nutzeffekt der Muskeltätigkeit zusammenhängen und demnach auf die Größe der geleisteten Arbeit zurückgehen. Diese letztere kann aber auf jedem als geradlinig anzusehenden Teil der Wegstrecke h, auf welcher der tätige Muskel oder Muskelkomplex eine Masse vom Gewicht p bewegt, durch das Produkt $p \cdot h$ gemessen werden. Nun lehrt die subjektive Beobachtung der während irgend einer Muskelaktion wahrzunehmenden Empfindungen, daß diesen beiden Faktoren der geleisteten mechanischen Arbeit verschiedene und relativ unabhängig veränderliche Empfindungselemente entsprechen, oder daß wir, wie man diese Tatsache auch ausdrücken könnte, in der Empfindung die Muskelbewegung in ihre Faktoren zerlegen. Demnach wollen wir die mit dem Gewichte p veränderliche Empfindung als die Kraftempfindung, die mit der Erhebungshöhe h veränderliche als die Lageempfindung bezeichnen, wobei übrigens, wie schon oben (S. 3) bemerkt wurde, diese Ausdrücke nur die Bedingungen andeuten sollen, unter denen die betreffenden Empfindungen entstehen, ohne daß diese darum irgend eine Vorstellung von Kraft oder von räumlicher Lage enthalten. Die in diesem Sinne, wie alle Empfindungen, lediglich intensiv und qualitativ bestimmten Kraft- und Bewegungsempfindungen sind nun unabhängig voneinander veränderlich, und

[1] Der Ausdruck stammt von CHARLTON BASTIAN her (The muscular sense. Brain, vol. 10, 1887, p. 1 ff.).

nur, weil sie dies sind, können sie natürlich unterschieden werden. Aber sie sind nicht sowohl verschiedene Arten, als zusammengehörige Komponenten der inneren Tastempfindungen, von denen nur die Lageempfindungen in gewissen Grenzfällen annähernd isoliert vorkommen können. Dies ist nämlich der Fall bei den passiven Lagen und Lageänderungen einzelner Körperteile, wogegen Kraftempfindungen ohne Lageempfindungen überhaupt unmöglich sind. Immerhin kann eine isolierte Veränderung der Kraftempfindung entstehen, wenn bei gleich bleibender Lage die Belastung eines Körperteils wechselt. Diese enge Verbindung beider Komponenten erschwert natürlich in hohem Maß die psychologische Analyse. Bis zu einem gewissen Grade ausführbar ist aber die letztere mittels der Vergleichung der Empfindungen unter Bedingungen, bei denen der Anteil jener Komponenten möglichst variiert wird. Dabei ergibt sich dann, daß die Qualitäten der Lage- und der Kraftempfindungen jedenfalls einander sehr ähnlich, und daß sie beide wiederum mit den äußeren Berührungsempfindungen des Tastorgans nahe verwandt sind. Der am meisten charakteristische Unterschied beider dürfte darin bestehen, daß die Kraftempfindungen in ihrer Qualität einförmiger sind, jedoch eine große Zahl von Intensitätsabstufungen darbieten; wogegen sich umgekehrt die Lageempfindungen nur innerhalb engerer Intensitätsgrenzen bewegen, dafür aber in ihren qualitativen Eigenschaften außerordentlich variieren. Dies hängt offenbar damit zusammen, daß in jede Lageempfindung eine Mehrheit qualitativ verschiedener Empfindungen eingeht, die sich bald nur teilweise bald in ihrem ganzen Zusammenhang verändern, sobald ein Wechsel der Lage eintritt. Indem nun diese Empfindungskomplexe überdies an jedem einer relativ selbständigen Bewegung fähigen Körperteil wieder andere sind, ergibt sich hieraus die ungemein zusammengesetzte Natur der Empfindungsmassen, durch die sich das Gebiet der inneren Tastempfindungen in jedem Augenblick an dem gesamten Empfindungsinhalt des Bewußtseins beteiligt.

In dem normalen Ablauf der Lebensvorgänge sind nun weiterhin noch die inneren Tastempfindungen in fortwährenden, stetigen und in einzelnen Momenten auch plötzlichen Veränderungen begriffen, an denen wiederum beide Komponenten, in überwiegendem Maße aber die Lageempfindungen, teilnehmen. Insbesondere sind es die Bewegungen der einzelnen Körperteile, die diese kontinuierlich wechselnden Empfindungen hervorbringen. Man pflegt danach jede solche zusammenhängende Reihe von Lageempfindungen, die eine einzelne Bewegung begleitet, als eine Bewegungsempfindung zu bezeichnen. Demnach sind die Bewegungsempfindungen nicht einfache Empfindungen, sondern Komplexe von Kraft- und namentlich von Lageempfindungen der motorischen Organe,

die in einer bestimmten zeitlichen Folge sich ablösen. So bemerken wir, daß bei der Bewegung eines Gliedes, z. B. des Armes, die Orte der deutlichsten Empfindung im Verlauf der Kontraktion wechseln: im Anfang derselben wird etwa vorzugsweise im Handgelenk die Bewegung empfunden, und bei fortschreitender Kontraktion wandert dann diese Stelle allmählich nach dem Ellenbogen- und Schultergelenk. Daneben beobachtet man aber, daß noch zahlreiche andere Punkte zu- oder abnehmende Empfindungen vermitteln. Insofern nun hierbei jede lokale Empfindung geringe qualitative Unterschiede darbietet, besteht die gesamte Bewegungsempfindung aus einem sehr verwickelten Komplex elementarer Empfindungen, deren jede zugleich zeitliche Veränderungen in ihrer Intensität erfährt. Als die relativ einfacheren, immer aber selbst noch sehr zusammengesetzten Bestandteile, aus denen eine dem Übergang eines Teils aus einer Stellung *A* in eine Stellung *N* entsprechende Bewegungsempfindung resultiert, bleiben so die einzelnen Lageempfindungen *A*, *B*, *C* . . . übrig, mit denen sich in mehr zurücktretender Weise kleine intensive Unterschiede der Kraftempfindungen verbinden. Die Analyse aller dieser Empfindungen ist nicht nur deshalb ungemein schwierig, weil es sich um sehr verwickelte und fortwährend veränderliche Empfindungskomplexe handelt, sondern auch deshalb, weil wir dieselben sofort auf ihre zusammengesetzten Erfolge, die Bewegungszustände der Teile unseres Leibes, beziehen. Indem jede elementare Empfindung in eine zusammengesetzte Lage- und Bewegungsvorstellung eingeht, in der sie mit einer großen Zahl anderer Empfindungselemente verschmolzen ist, sind wir außer stande, sie aus dieser Verbindung zu lösen.

Eine weitere Schwierigkeit erwächst sodann aus der festen Verbindung, welche die Kraft- und die Lage- und Bewegungsempfindungen untereinander eingehen. Eine Trennung dieser Verbindung findet nur in zwei Fällen statt, die denn auch offenbar die Grundlagen für die Unterscheidung jener Komponenten abgeben: erstens bei der passiven, durch äußere Druck- oder Zugkräfte bewirkten Bewegung eines Gliedes, wo die Kraftempfindung hinwegfällt und nur die Lageempfindungen, in der Regel verbunden mit den durch die äußeren Kräfte ausgelösten Druckempfindungen an der Hautoberfläche, übrig bleiben; und zweitens bei solchen Kraftanstrengungen der Muskeln, bei denen entweder durch äußere Widerstände oder durch den inneren der Antagonisten, der betreffende Körperteil seine Lage nicht verändert, und wo demnach keine Lageempfindung, wohl aber eine Kraftempfindung, zumeist wieder verbunden mit äußeren Druckempfindungen, stattfindet. Eigentümliche, unter speziellen Bedingungen auftretende Verbindungen der Kraftempfindung mit solchen äußeren Druckempfindungen sind ferner die Kompressions- und die Zug-

empfindungen, von denen die ersteren durch äußere Widerstände, die sich der Bewegung eines Gliedes entgegenstellen, die letzteren durch den Zug von Gewichten erzeugt werden. Diese können, namentlich bei erhöhter Empfindlichkeit, auch durch das Eigengewicht der Körperteile entstehen, wo man sie dann als Schwereempfindungen bezeichnet. Abweichender verhält sich die Ermüdungsempfindung der Muskeln. Sie kann als eine Nachempfindung betrachtet werden, die starke oder oft wiederholte Muskelanstrengungen zurücklassen, und die bei mäßigeren Graden der Kraftempfindung, auf die sie als ihre Nachwirkung folgt, auch qualitativ verwandt zu sein scheint. So lange sie von geringer Intensität ist, dauert sie nur in der Ruhe an, um bei eintretender Bewegung vollständig durch die Bewegungs- und Kraftempfindungen verdrängt zu werden. Dagegen wird sie in ihren stärkeren Graden durch die Bewegung gesteigert, und sie verbindet sich dann auch leicht mit Schmerzempfindungen in den Muskeln und Gelenken. Hierdurch bildet die Ermüdungsempfindung einen Übergang zu den Gemeinempfindungen. Wie durch die inneren Tastempfindungen überhaupt unser allgemeines körperliches Befinden in hohem Grade beeinflußt wird, so spielen in der Tat besonders die Ermüdungsempfindungen bei demselben eine wichtige Rolle. Das Schwächegefühl der Kranken und Altersschwachen beruht wahrscheinlich ganz und gar auf Ermüdungsempfindungen.

Die festen Verbindungen, die bei den Stellungen und Bewegungen des Körpers und seiner Teile die Kraft- und Lageempfindungen miteinander bilden, sind die häufigsten Ursachen der gerade im Gebiet des inneren Tastsinnes besonders häufig vorkommenden Empfindungstäuschungen. Sobald nämlich der normale Zusammenhang von Kraft- und Lage- oder Bewegungsempfindungen gestört wird, pflegt sich die Abweichung der einen dieser Komponenten mit einer entsprechenden Veränderung auch der andern zu assoziieren. Nun sind es vor allem die Kraftempfindungen, die infolge vorübergehender oder dauernder, peripherer oder zentraler Störungen solchen Abweichungen ausgesetzt sind, während die Lageempfindungen vermöge ihrer natürlichen Entstehungsbedingungen von festerem Bestande sind. Die fraglichen Abweichungen pflegen sich daher in dem Sinne geltend zu machen, daß mit übernormalen Kraftempfindungen intensivere Bewegungsempfindungen und mit unternormalen minder intensive verbunden sind, als den wirklichen Lageänderungen entspricht. So überschätzen wir häufig bei der Erhebung eines ungewöhnlich großen Gewichts die Erhebungshöhe. In noch höherem Maße finden sich ähnliche Täuschungen in Zuständen partieller Lähmung, sogenannter Parese, wo bei der Bewegung eines halb gelähmten Gliedes nicht nur die Empfindung einer außerordentlichen Schwere desselben, also

eine gesteigerte Kraftempfindung, vorhanden ist, sondern zugleich der Umfang der Bewegungen mehr oder weniger erheblich überschätzt zu werden pflegt[1]. Assoziative Veränderungen im umgekehrten Sinne, also z. B. Unterschätzungen der Erhebung eines kleinen Gewichts, beobachtet man dagegen nicht oder mindestens nicht in irgend bemerkbarer Weise. Wohl aber finden sich Veränderungen der Kraftempfindung, die sich je nach Umständen als Verstärkungen oder als Verminderungen geltend machen können, unter solchen Bedingungen, bei denen andere vorangegangene oder gleichzeitige Empfindungen einen Einfluß auf dieselben ausüben. Allgemein bekannt ist in dieser Beziehung namentlich die Unter- oder Überschätzung gehobener Gewichte infolge des sogenannten Erwartungseinflusses, die leicht auch experimentell zu bestätigen ist[2]. Daß es sich hier lediglich um Assoziationswirkungen handelt, durch die ein bestimmter Empfindungskomplex einen andern oder einzelne Komponenten desselben verändert, erhellt deutlich aus folgenden Beobachtungen, bei denen die im vorigen Fall sukzessiv stattfindenden Einflüsse durch die Mitwirkung eines andern Sinnesgebiets, nämlich des Gesichtssinns, in simultane verwandelt werden. Hebt man ein Gewicht, mit dem sich nach seinem Volumen die Vorstellung einer bedeutenderen Größe assoziiert, als die es wirklich besitzt, so erscheint dasselbe abnorm leicht; wird umgekehrt nach dem Gesichtseindruck des Volums ein leichteres erwartet, so erscheint es abnorm schwer. Stellt man demnach einen Satz aus lauter gleichen Gewichten her, die sich aber nach ihrem Volum wie ein gewöhnlicher aufsteigender Gewichtssatz ausnehmen, so erscheinen beim Heben alle Gewichte verschieden, die größeren leichter, die kleineren schwerer[3]. In allen diesen Fällen werden offenbar assoziative Kontrasteinflüsse wirksam. Die psychologische Erörterung dieser Erscheinungen muß darum der allgemeinen Betrachtung der Kontrastassoziation (in Abschn. V) überlassen bleiben. Ebenso sei auf dasjenige Gebiet von Empfindungen, das oben (in Kap. VIII) als ein aller Wahrscheinlichkeit nach durchaus dem inneren Tastsinn zuzurechnendes bezeichnet wurde, auf das der tonischen Sinnesorgane, hier nur vorläufig hingewiesen. Bei den engen Beziehungen dieser Empfindungen zu den Bewegungsvorstellungen müssen sie um so mehr der Erörterung der letzteren vorbehalten bleiben, als eine auch nur annähernde Isolierung der Empfindungen in diesem Fall noch viel weniger möglich ist als bei den inneren Tastempfindungen.

---

[1] Vgl. unten f, sowie mit Rücksicht auf die hieraus resultierenden räumlichen Täuschungen Kap. XIII und XIV.

[2] G. E. MÜLLER und SCHUMANN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 45, 1889, S. 37 ff.

[3] DRESSLAR, Amer. Journ. of Psychology, vol. 6, 1893, p. 313. SEASHORE, Stud. from the Yale psychol. Labor. vol. 4, 1896, p. 27. Psychol. Review, vol. 4, 1897, p. 522.

f. Physiologische Substrate der inneren Tastempfindungen.

Gegenüber so vielgestaltigen Empfindungen, wie sie an die Bewegung der Teile unseres Körpers geknüpft sind, drängt sich von selbst die Vermutung auf, es möchten dieselben auf verschiedene Ursachen zu beziehen sein. Nichtsdestoweniger hat sich in der Physiologie und, ihr folgend, auch in der Psychologie meistens die Tendenz geltend gemacht, alle diese Empfindungen wo möglich aus einer Quelle abzuleiten. In dieser Absicht hat man sie entweder 1) auf Druckempfindungen der Haut, oder 2) auf Gelenkempfindungen zurückzuführen gesucht, oder man hat in ihnen 3) spezifische Muskelempfindungen gesehen, die, von sensibeln Apparaten und Nerven im Innern der Muskeln abhängig, entweder als Empfindungen eines spezifischen Muskelsinnes oder als eine besondere Art sogenannter »kinästhetischer Empfindungen« zu betrachten seien; endlich hat man sie 4) als Innervationsempfindungen bezeichnet, indem man annahm, daß sie von der zentralen Innervation der Bewegungsorgane abhängig und daher überhaupt nicht sowohl peripheren als zentralen Ursprungs seien.

Keine dieser vier Hypothesen über den sogenannten Muskelsinn ist jedoch zureichend, um über die Gesamtheit der Erscheinungen Rechenschaft zu geben. Dagegen dürfte jede insofern einen Teil der Wahrheit enthalten, als die an die Bewegung und Stellung der Glieder geknüpften Empfindungen im allgemeinen komplexe Verschmelzungsprodukte aus verschiedenen Empfindungen, und außerdem je nach den Bedingungen, unter denen die Stellungen und Lageänderungen zustandekommen, von verschiedenem Ursprung sind. In letzterer Hinsicht sind insbesondere die durch passive Lageänderung der Teile entstehenden von den durch aktive Muskelwirkungen erzeugten zu unterscheiden. Die bei passiver Bewegung vorhandene Empfindung hat vorzugsweise ihren Sitz in den Gelenken, wozu als inkonstantere und schwächere Elemente, namentlich bei ausgiebigeren Bewegungen, noch Druckempfindungen der äußeren Haut, durch die Faltenbildungen derselben entstehend, und vielleicht auch Kompressions- und Zugempfindungen der Muskeln und Sehnen hinzutreten können. Die vorwiegende Bedeutung der Gelenkempfindung bei der passiven Bewegung ergibt sich teils aus der Lokalisation der Empfindungen in den Gelenken, teils aus der feinen Auffassung sehr kleiner Drehungen, bei denen Druck- oder Kompressionsempfindungen nicht merklich von Einfluß sein können. Auch wird die Auffassung kleiner Bewegungen durch Aufhebung der Hautempfindlichkeit mittels elektrischer Ströme

nicht merklich beeinträchtigt[1]. Bei aktiver Bewegung finden sich zunächst die bei der passiven vorkommenden Empfindungen in genau entsprechender Weise. Es tritt dann aber, während die Gelenkempfindungen infolge der Druckzunahme in den Gelenken verstärkt werden, außerdem eine deutlich in den Muskeln selbst und in den Sehnen derselben lokalisierte Empfindung hinzu. Diese bildet den oben als Kraftempfindung bezeichneten Bestandteil des ganzen Empfindungskomplexes. Von ihr unterscheiden sich die Kompressions- und die Zugempfindung, abgesehen von den meistens vorhandenen gleichzeitigen äußeren Druckempfindungen, durch eine besonders starke Beteiligung von Gelenkempfindungen, wozu bei den Zugwirkungen noch mehr oder minder intensive Sehnenempfindungen hinzutreten. Alle die hiermit zusammenhängenden lokalen Eigenschaften der Empfindungen kann man leicht bei aufmerksamer Selbstbeobachtung während der langsamen Ausführung passiver und aktiver Bewegungen wahrnehmen.

Neben diesen unmittelbar aus peripheren Reizen entspringenden Empfindungen scheint aber endlich noch die Annahme von Empfindungen zentralen Ursprungs unerläßlich zu sein, die unter normalen Verhältnissen hinter den mit ihnen qualitativ übereinstimmenden peripheren Kraft- und Lageempfindungen zurücktreten mögen, die jedoch in Fällen von Lähmungen der Bewegungsorgane zu auffallenden Bewegungstäuschungen Veranlassung geben können. Der Paralytiker, der sein vollständig gelähmtes Bein aufzuheben sucht, hat häufig eine deutliche Empfindung von Kraftanstrengung, obgleich alle jene Elemente der Empfindung fehlen, die in der Bewegung der Gelenke, in der Kontraktion der Muskeln, in dem Druck der Hautteile ihre Quellen haben. Nun beobachtet man allerdings in solchen Fällen in der Regel Mitbewegungen anderer, nicht gelähmter Teile. Ist z. B. das rechte Bein gelähmt, so wird unwillkürlich das linke mitbewegt; sind beide Beine gelähmt, so treten Mitbewegungen des Rumpfes und der Arme ein. Solche Mitbewegungen mögen darum immerhin bei den scheinbar in den gelähmten Teilen selbst lokalisierten Bewegungsempfindungen mitwirken. Aber obgleich sie auf diese Weise wahrscheinlich zur Verstärkung des ganzen Empfindungskomplexes beitragen, so bleibt doch die bestimmte Lokalisation in den gelähmten Teilen nur dann begreiflich, wenn man außerdem auch noch direkt auf diese selbst bezogene zentrale Komponenten zu Hilfe nimmt. Andernfalls müßte man annehmen, daß der bloße Wille, eine bestimmte Bewegung auszuführen, entweder an und für sich

[1] Goldscheider, Archiv f. Physiol., 1889, S. 490 ff. Ges. Abhandl., Bd. 2, S. 92 ff. Über die Reizschwelle bei passiven Gelenkbewegungen vgl. Kap. IX, Bd. 1, S. 673.

schon genügte, die entsprechende Bewegungsvorstellung zu erwecken, oder doch mindestens imstande sei, eine in Wirklichkeit in ganz andern Organen lokalisierte Empfindung auf die gelähmten Teile zu übertragen. In der Tat hat man diese Annahme vielfach der Deutung der Erscheinungen zugrunde gelegt[1]; und wenn sie auch von vornherein wegen der eigentümlichen Willenstheorie, die sie in sich schließt, psychologisch bedenklich ist, so sind doch solche Fälle von Paralyse der Körpermuskeln wenig geeignet, zu einer sicheren Entscheidung zu führen. Denn bei der Unbestimmtheit, die häufig der Lokalisation der Bewegungen gelähmter Glieder zukommt, und in Anbetracht der mangelhaften Auskunft, die paralytische Patienten meist über ihren Zustand geben, ließe sich immerhin, auch wenn man den Willen aus dem Spiele läßt, wohl an Erinnerungstäuschungen oder an eine auf getrübter Auffassung der Empfindung beruhende fehlerhafte Lokalisation denken.

Da fügt es sich nun glücklich, daß uns bei partiellen Lähmungen der Augenbewegungen nicht selten die Symptome analoger Zustände in einer für die nähere Analyse überaus günstigen Form entgegentreten, in einer Form zugleich, die wie dazu geschaffen scheint, den Anteil der insuffizient gewordenen und der normal gebliebenen Innervationen gegeneinander abzuwägen. Unter den paretischen Zuständen der Augenmuskeln bieten in dieser Beziehung namentlich die des äußeren geraden Augenmuskels deshalb besonders vorteilhafte Bedingungen, weil sie bei der isolierten Innervation dieses Muskels von einem einzigen Nerven (dem Abducens) am häufigsten vollkommen isoliert, bei sonst normaler Beschaffenheit der motorischen und der sensorischen Funktionen vorkommen. Da aber in diesem Fall die synergisch tätigen Muskeln die des andern, gesunden Auges sind, so bietet das Verhältnis der entstehenden Doppelbilder ein exaktes Hilfsmittel, um den Einfluß der direkt gestörten Innervation und der kompensierenden der synergisch tätigen Muskeln gegeneinander abzuschätzen[2]. Führt man nun z. B. bei einem Patienten mit

---

[1] G. E. Müller und F. Schumann, Pflügers Archiv, Bd. 45, S. 37 ff. W. James, Principles of Psychology, vol. 2, p. 503. Ihren Ursprung hat diese Annahme übrigens aus den unten zu erwähnenden Hypothesen über die Entstehung der Lokalisationsstörungen bei Augenmuskellähmungen genommen.

[2] Ich entnehme die folgende Schilderung des tatsächlichen Verhaltens zunächst der Darstellung von M. Sachs (Archiv f. Ophthalmologie, Bd. 44, 1897, S. 320 ff.). Da Sachs selbst auf der Seite der hier als unhaltbar zurückgewiesenen Lokalisationstheorie steht, so ist damit die Objektivität der Schilderung um so mehr verbürgt. Übrigens stimmen auch die andern Beobachter, z. B. Alfr. Graefe (Handbuch der gesamten Augenheilkunde[2], Bd. 8, II, 1898, S. 25 ff.), der die Lokalisationsstörungen direkt aus der erschwerten Innervation des paretischen Muskels ableitet, in allem wesentlichen überein. Wir beschränken uns hier selbstverständlich auf die das Gebiet des sogenannten »Muskelsinns« betreffenden Erscheinungen; auf ihre Beziehungen zu den räumlichen Gesichtsvorstellungen wird später (in Kap. XIV) einzugehen sein.

Parese des rechten Abducens einen Sehversuch zunächst in der durch Fig. 164 *A* schematisierten Weise aus, indem man nämlich das linke, gesunde Auge durch einen Schirm *S* verdeckt, und mit dem rechten, paretischen zuerst ein in der Mittelebene gelegenes Objckt *a*, dann ein nach rechts gelegenes *b* fixieren läßt, so ergibt sich folgendes. Das Objekt *a* wird richtig fixiert und an seinem richtigen Ort wahrgenommen. In dem Moment, wo sich das Auge *R* von *a* nach *b* bewegt, tritt aber eine Scheinbewegung des ganzen äußeren Gesichtsraumes im selben Sinne, also in der Richtung des Pfeiles, ein, und das Objekt *b* wird nun nicht in der Richtung *cb* der auf dasselbe eingestellten Gesichtslinie, sondern nach *c' b'* lokalisiert, es wird also zu weit nach außen verlegt, in der

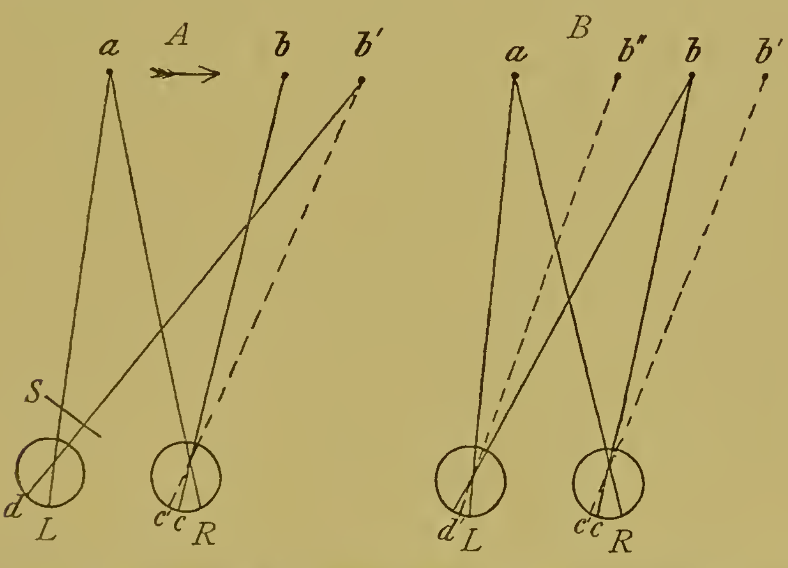


Fig. 164. **Lokalisationsstörungen bei Abducenslähmung.** *A* **bei verdecktem normalem Auge,** *B* **bei binokularem Sehen.**

Richtung der Wirkung des paretischen Muskels. Auch erfolgt die Bewegung von *a* nach *b* in verlangsamtem Tempo, ähnlich wie man dies auch sonst an halbgelähmten Teilen beobachtet. Zugleich zeigt sich aber, daß das verdeckte normale Auge an der Bewegung des paretischen teilgenommen hat: seine Gesichtslinie ist in der Richtung *db'* eingestellt. Bliebe man mit der Ausführung des Versuchs hierbei stehen, so würde sich daher die ganze Lokalisationsstörung aus dieser Mitbewegung des linken Auges ableiten lassen. Man könnte sagen: die Richtung, in der *b* gesehen wird, hängt von der Richtung der Gesichtslinie des gesunden Auges ab, und demnach wird *b* in der Richtung *db'* gesehen, also nach *b'* verschoben. Nur die im Moment des Übergangs von *a* nach *b* eintretende Scheinbewegung würde aus dieser Annahme nicht zu erklären

sein. Nimmt man nun aber, nachdem die Bewegung von *a* nach *b* eingetreten ist, den Schirm *S* weg, so zeigen sich einige weitere Erscheinungen, die beweisen, daß sich in Wahrheit auch die Lokalisationsstörung nicht aus den Mitbewegungen des gesunden Auges ableiten läßt. Die Fig. 164 *B* stellt die jetzt zu beobachtenden Erscheinungen dar: im Moment, wo der Schirm hinweggezogen wird, treten Doppelbilder auf, und zwar behält dabei das Bild des rechten, paretischen Auges seine nach rechts abgelenkte Lokalisation *b'* bei; das Bild des linken, normalen Auges aber erscheint links vom wirklichen Objektpunkte *b*, bei einem Punkte *b''*, der ungefähr ebensoweit nach innen, wie *b'* nach außen von *b* liegt. Dieser Erfolg zeigt evident, daß die Täuschung in *A* nicht von einer übergroßen Mitbewegung des verdeckten normalen Auges herrühren kann. Vielmehr läßt der ganze Komplex von Erscheinungen nur die folgende Deutung zu: 1) Die Rechtsablenkung des Punktes *b* ist eine direkte Folge der verstärkten Innervation des paretischen Abducens des Auges *R*. Auch die Scheinbewegung des äußeren Raumes beim Übergang von *a* nach *b* ist, ebenso wie die Verlangsamung der Bewegung, eine Folge dieser intensiveren Anstrengung und ihrer Beziehung auf eine extensiv größere Raumstrecke. Denn indem der Weg von *a* nach *b* größer aufgefaßt wird, als er wirklich ist, tritt diese Auffassung in einen Widerspruch mit der tatsächlichen Verteilung der Gegenstände im Raum, der durch diese Scheinbewegung der Objekte ausgeglichen wird. Demnach beobachtet man denn auch, daß bei totaler Abducenslähmung das Auge sich in Wirklichkeit gar nicht bewegt, nun aber statt der intendierten Augenbewegung lediglich jene Scheinbewegung der Objekte eintritt. 2) Die übermäßige Rechtswendung des verdeckten normalen Auges *L* ist eine Folge der Synergie des Rectus internus dieses Auges mit dem Rectus externus des rechten, welche Synergie sich wiederum nicht nach der wirklich ausgeführten Bewegung des sehenden, paretischen Auges *R*, sondern nach der Innervationsenergie desselben richtet. 3) In dem Augenblick, wo das Objekt auch für das normale Auge *L* durch Wegnahme des Schirms sichtbar wird, tritt an die Stelle der bisherigen bloß synergischen Innervation die Wirkung des Objektes *b* selbst auf die Blickbewegung des Auges *L*. Da nun im Moment, wo *b* sichtbar wird, die synergische Fixationsrichtung *d b'* auf den Ort *b* des Objektes bezogen wurde, so muß das Bild von *b* im Auge *L* im Verhältnis zum wirklichen Objektpunkte *b* ebensoweit verschoben erscheinen, wie das vorherige Scheinbild des Auges *R*, nur nach der entgegengesetzten Seite. So erklärt sich das Doppelbild *b''* in Fig. 164 *B*, das aber, wie schon diese Entstehungsbedingungen vermuten lassen, eine viel flüchtigere Erscheinung ist als die direkte Lokalisationsstörung des paretischen Auges,

daher es denn auch nur in den Anfangsstadien der Abducenslähmung beobachtet wurde[1]. Aus der Gesamtheit dieser Tatsachen ist zu schließen, daß die synergische Tätigkeit der Muskeln der gesunden Seite, wenn sie überhaupt bei der Störung der Bewegungsempfindungen beteiligt sein sollte, dies jedenfalls nur in verschwindendem Grade ist. Wäre sie die wirkliche Ursache, so müßte die Lageabweichung in dem Augenblick korrigiert werden, wo binokulares Sehen eintritt. Noch weniger könnte natürlich die oben erwähnte kompensierende Lokalisationstäuschung des normalen Auges eintreten. Vielmehr zeigt gerade diese deutlich, daß die falsche Konvergenz des verdeckten normalen Auges nicht die Ursache der falschen Lokalisation, sondern daß umgekehrt die letztere bzw. die ihr entsprechende falsche Innervation des kranken Auges die Ursache der falschen synergischen Einstellung des gesunden ist, aus der sich dann im Moment ihrer Aufhebung die geschilderten Doppelbildererscheinungen mit Notwendigkeit ergeben. In diesem Sinne kann man wohl sagen, daß diese Erscheinungen am Auge eine Art von Experimentum crucis abgeben für den Einfluß der Innervationsenergie überhaupt auf die Kraft- und Lageempfindungen der muskulösen Bewegungsorgane.

Nun sind allerdings hiergegen zwei Einwände erhoben worden. Erstens wird bemerkt, von den Bewegungen unserer Augen als solchen besäßen wir überhaupt kein Bewußtsein und also auch keine Empfindung, wir empfänden vielmehr nur die Veränderungen in der Wahrnehmung äußerer Objekte, die durch die Augenbewegungen herbeigeführt werden; dasselbe gelte dann selbstverständlich auch für Menschen mit paretischen Augenmuskeln, welche also die Bewegungen ihres Auges nicht direkt als erschwerte empfinden könnten. Zweitens sei das primär bei den beschriebenen Störungen wahrzunehmende Phänomen die (in Fig. 164 *A* durch den Pfeil angedeutete) Scheinbewegung; folglich sei die Scheinbewegung die Ursache der falschen Lokalisation, und nicht umgekehrt. Die Scheinbewegung leitet man demnach nicht aus irgendwelchen motorischen oder sensorischen Vorgängen am Sinnesapparat selbst ab, was natürlich immer wieder auf primäre Lokalisationstäuschungen zurückführen würde, sondern man deutet sie als Wirkungen der Einbildungskraft oder des Willens: der Patient wolle z. B. sein Auge nach außen bewegen, aber er könne es nicht, und infolgedessen trete nun eine seiner Willensintention entsprechende Bewegungstäuschung ein[2]. Unter diesen Ein-

[1] SACHS, a. a. O. S. 328. A. GRAEFE bemerkt, ihm sei es überhaupt nicht gelungen, solche Ablenkungen der Doppelbilder des gesunden Auges wahrzunehmen (a. a. O. S. 27).

[2] Auch als »Ortswechsel der Aufmerksamkeit« ist der hier postulierte Vorgang bezeichnet worden. Doch begründet dies wohl keinen wesentlichen Unterschied in der Auffassung desselben. Vgl. MACH, Beiträge zur Analyse der Empfindungen. 1886, S. 57. HERING, HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, I, S. 534 f.

wänden erledigt sich der erste eigentlich schon durch die Bemerkung, daß, wenn man ihm stattgeben wollte, mit den Empfindungen der Augenbewegungen auch die sämtlichen andern »kinästhetischen« Empfindungen gestrichen werden müßten, da doch wohl niemand geneigt sein wird, dem Auge unter allen Bewegungsorganen allein die Eigenschaft der Empfindungslosigkeit zuzuschreiben. Auch ist es positiv nicht richtig, daß wir Augenbewegungen nicht als solche empfinden können. Für extensivere Bewegungen gilt dies zweifellos. Daß wir starke Bewegungen ziemlich intensiv, schwächere gar nicht empfinden sollten, ist aber an und für sich wenig wahrscheinlich. Wenn wir bei minder umfangreichen Bewegungen die Bewegungsempfindungen als solche beim Auge, gerade so wie bei den andern Bewegungsorganen, wenig beachten, so erklärt sich dies zureichend daraus, daß sie mit den gesamten Empfindungskomplexen verschmelzen, welche in die Vorstellungen unserer Bewegungen eingehen. Wollte man aus der bei der gewöhnlichen Sinneswahrnehmung vorhandenen Nichtbeachtung solcher Empfindungen immer auf ihre Nichtexistenz schließen, so müßte man ebensogut annehmen, daß die Obertöne eines Klangs, oder daß die Unterschiede der Farbenempfindlichkeit in den Seitenteilen des Sehfeldes in der Regel nicht existieren, weil wir sie nicht als solche wahrnehmen. Wenn dann aber weiterhin die Scheinbewegung der Gegenstände als das primum movens der Lokalisationsstörungen angesehen und als Wirkung der Einbildungskraft, der Aufmerksamkeit oder des Willens gedeutet wird, so operiert man hier mit psychologischen Vermögensbegriffen, die, der Metaphysik vergangener Tage entlehnt, aus der empirischen Psychologie endgültig verbannt sein sollten. Denn diese kennt ebensowenig ein abstraktes Willensvermögen, wie eine ohne alle sinnliche Empfindungen, als »Actus purus«, wirksame Aufmerksamkeit, die, wenn nicht die Berge selbst, so doch die Bilder derselben in unserem Bewußtsein beliebig versetzen könnte.

Wird somit die Frage nach der Beteiligung zentraler Empfindungskomponenten an den unter dem Namen der »Bewegungsempfindungen« zusammengefaßten Empfindungskomplexen durch die angeführten Beobachtungen endgültig im positiven Sinne beantwortet, so ist aber damit doch die nähere Natur dieser Komponenten noch nicht sicher bestimmt. Vielmehr bleiben hier zwei Annahmen möglich. Entweder sind jene Komponenten direkt an die motorische Innervation gebunden, so daß jede motorische Erregung unmittelbar von einer Empfindung begleitet wird, die in den motorischen Innervationszentren selbst oder sogar in den motorischen Nerven ihren Sitz hat. Oder es handelt sich um eine sensorische Miterregung, die an die motorische Innervation gebunden ist. Die erste dieser Annahmen ist die Hypothese der »Innervations-

empfindungen«. Sie ist die einfachste, und deshalb wurde sie von den Physiologen und Pathologen zunächst ergriffen, als es sich darum handelte, die Erscheinungen bei Gelähmten zu deuten. Sie ist aber die unwahrscheinlichste, und im Hinblick auf unsere heutige Kenntnis der psychophysischen Bedingungen der Empfindung ist sie kaum mehr aufrecht zu erhalten. Scheinen doch überall die motorischen von den sensorischen Leitungsbahnen und demnach auch die entsprechenden Zentren voneinander gesondert zu sein, wenngleich die zum selben Funktionsgebiet gehörigen Zentren einander benachbart und sicherlich durch intermediäre Leitungen verbunden sind[1]. Sodann zeigt die Untersuchung der physischen Bedingungen der Empfindung, daß diese sonst überall in Reizen, die auf äußere Sinnesflächen des Körpers einwirken, ihre ursprüngliche Quelle hat. Erst nachdem der äußere Vorgang der Empfindung ihr eigentümliches Gepräge gegeben, kann dann diese auch auf bestimmte rein zentrale Veranlassungen hin als »zentrale Sinnesempfindung« entstehen. Bei den Innervationsempfindungen würde es sich nun gewissermaßen um primäre zentrale Sinnesempfindungen handeln, die trotzdem in die gleichen peripheren Körperteile verlegt würden, in denen wir die ursprünglich peripher entstehenden Empfindungen lokalisieren; ja noch mehr, man müßte annehmen, daß auch qualitativ diese aus so ganz anderer Quelle stammenden zentralen motorischen Empfindungen mit den durch die peripheren Vorgänge ausgelösten in den Muskeln, Sehnen, Gelenken wesentlich übereinstimmten. Nach allem dem bleibt nur die zweite Annahme übrig: die zentralen Komponenten der Bewegungsempfindungen beruhen auf Miterregungen, welche die zu dem betreffenden Funktionsgebiet gehörenden sensorischen Zentren ergreifen, woraus dann auch die qualitative Übereinstimmung dieser zentralen Komponenten mit den peripher ausgelösten Bewegungsempfindungen ohne weiteres begreiflich wird. Physiologisch aber ist diese Miterregung in der normalen funktionellen Verbindung der dem gleichen Funktionsgebiete zugehörigen motorischen und sensorischen Zentren begründet, der im allgemeinen auch ihre räumliche Nähe entpricht. Damit erscheint zugleich die zentrale Komponente als ein regelmäßiger Bestandteil des an die Bewegung gebundenen Empfindungskomplexes, der, außer in jenen ihn relativ isolierenden pathologischen Fällen, schon bei den normalen Empfindungen seinen Einfluß geltend macht. Das in Fig. 165 dargestellte Schema mag diese Verhältnisse veranschaulichen. Ein Muskelgebiet *M* wird einerseits zentrifugal von einem motorischen Zentralgebiet *P* aus innerviert. Anderseits steht es samt den ihm zuge-

[1] Vgl. Bd. 1, Kap. V, S. 253 ff.

ordneten sensibeln Organen *G*, wie Gelenken, Sehnen, äußerer Haut, in zentripetaler Verbindung mit dem dem gleichen Funktionsgebiet zugehörigen sensorischen Zentrum *T*. Werden nun die Teile *M* und *G* passiv durch eine äußere Kraft bewegt, so werden nur die Leitungen *MT*, *GT* in Anspruch genommen, indes zugleich die in den muskulösen Teilen *M* ausgelösten Empfindungen wegen der hier fehlenden inneren Kompression der Muskelelemente eine qualitativ abweichende, die passive von der aktiven Bewegung unterscheidende Beschaffenheit besitzen. Aber auch in anderer Beziehung wird sich der eine aktive Bewegung begleitende Empfindungsvorgang in wesentlich abweichender Weise abspielen. Indem er mit der motorischen Innervation in *P* beginnt, werden nämlich, während in *M* und *G* die sensibeln Reize einwirken, die sich nach dem Zentrum *T* fortpflanzen, in diesem gleichzeitig oder kurz zuvor schon durch die motorische Innervation Miterregungen entstehen, die, von *P* nach *T* geleitet, dieselben Empfindungen, nur mutmaßlich in schwächerem Grade, erzeugen, die dann direkt von *M* und *G* her ausgelöst werden. In dem normalen Ablauf der Lebensvorgänge kommen nun diese zentralen Miterregungen nicht zu gesonderter Beobachtung, weil sie unmittelbar mit den zentripetal zugeführten Erregungen zusammenfließen. Immerhin dürften sie sich auch hier darin geltend machen, daß die Bewegungsempfindung schon kurze Zeit vor ihrer peripheren Auslösung beginnt. Als qualitativ bestimmte Empfindungen werden sie allerdings erst dann

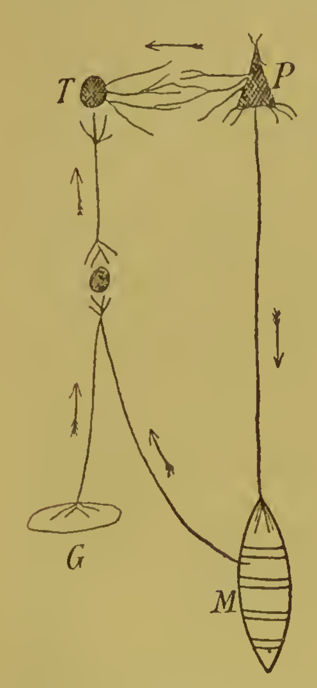


Fig. 165. Schema der Erregungsleitungen bei aktiver Bewegung.

auftreten, nachdem sie überhaupt durch ihre peripheren Entstehungsursachen dem Zentralgebiet *T* eingeübt sind, so daß sie in dieser Hinsicht vollständig jener Klasse der zentralen Sinnesempfindungen zugezählt werden können, die die Begleiter unserer Erinnerungsvorstellungen bilden. Vom psychologischen Standpunkte aus können daher diese zentralen Komponenten wohl auch als die reproduktiven Elemente der Bewegungsempfindungen bezeichnet werden. Auch in dieser Beziehung ist also jener zentrale Bestandteil nichts neues, was erst beim Hinwegfall der normalen peripheren Reizungen für die letzteren eintritt, sondern ein überall dieselben begleitendes Komplement, ohne das die Einübung und die fortwährende Regulation der Bewegungen nach vorangegangenen Empfindungen unmöglich sein würde. Die hier sich erge-

bende Verbindung der direkten und der reproduktiven Elemente reiht sich auf solche Weise ganz und gar jenen Assimilationsvorgängen ein, die uns als wichtige Bestandteile der Sinneswahrnehmung weiterhin noch in den mannigfaltigsten Gestaltungen begegnen werden. (Vgl. Abschn. III und V.) Hiernach dürfte, um Mißverständnisse über die Natur dieser Empfindungen zu verhüten, der Ausdruck »Innervationsempfindungen«, dem nun einmal jener Begriff einer direkt die motorische Innervation begleitenden Empfindung anhaftet, besser ganz zu vermeiden und statt dessen der andere »zentrale Bewegungsempfindungen« oder »zentrale Komponenten der inneren Tastempfindungen« zu gebrauchen sein. Als Fälle, in denen diese Komponenten beim Hinwegfall der peripher ausgelösten Erregungen für diese eintreten, werden dann aber, abgesehen von den oben besprochenen Lähmungszuständen, auch noch diejenigen sogenannten Empfindungstäuschungen gelten müssen, die beim Verlust eines Körperteils beobachtet werden. So haben Amputierte, besonders in der ersten Zeit nach der Entfernung des Gliedes, nicht selten deutliche Vorstellungen von aktiven Bewegungen und Stellungen desselben[1]. Offenbar sind das Erscheinungen, die den Bewegungsempfindungen der Gelähmten vollständig gleichen, und wo nun die oben erwähnte Zurückführung dieser zentralen Komponenten auf den »Willen« des Patienten zu der sonderbaren Konsequenz führen würde, daß ein Amputierter imstande sei, sich willkürlich die täuschende Illusion zu verschaffen, als wenn er das verlorene Bein noch besäße. Anderseits erklärt sich aber auch aus der zentralen Natur dieser Komponenten die immerhin bei der Vergleichung der verschiedenen hierher gehörigen Beobachtungen hervortretende relative Veränderlichkeit der Erscheinungen, wie sie wohl bei zentralen Miterregungen, kaum aber bei peripherer Reizung vorkommen kann. Besonders werden unter diesem Gesichtspunkte auch die mannigfachen Abweichungen verständlich, die das Symptomenbild solcher partieller Lähmungen bei hysterischen, also ohnehin in der zentralen Koordination der nervösen Funktionen gestörten Individuen zeigt. Hierher gehören die Fälle, wo, bei völliger Empfindungslosigkeit der äußeren Haut und wie es scheint auch der Gelenke und Muskeln, bei geschlossenem Auge passive Bewegungen eines Gliedes überhaupt nicht wahrgenommen, aktive aber bei zugerufenem Befehl nicht ausgeführt werden können, wogegen bei geöffnetem Auge und unter der Kontrolle des Gesichtssinnes die willkürlichen Bewegungen ohne Schwierigkeit zustande kommen[2]. Mögen auch solche Erscheinungen

[1] WEIR MITCHELL, Injuries of Nerves and their consequences, p. 348. Angef. von CHARLTON BASTIAN, Brain, vol. 10, p. 37.
[2] DUCHENNE, Physiologie der Bewegungen, deutsch von C. WERNICKE, 1885, S. 613.

ein weiteres Zeugnis für die ungemein komplexe Beschaffenheit der unter dem Namen der »Bewegungsempfindungen« zusammengefaßten Bewußtseinselemente abgeben, so lassen sich doch aus diesen meist bei hochgradigen nervösen Anomalien beobachteten Kompensationen um so weniger allgemeine Schlüsse ziehen, als durchweg bei normalen Menschen die Kraft- und Lageempfindungen eine weitgehende Unabhängigkeit von begleitenden Gesichtsvorstellungen zeigen, wie dies ja überdies das Beispiel der Blinden beweist, bei denen allerdings die unabhängige Funktion der Tastorgane noch durch eine besondere Einübung unterstützt wird. Gleichwohl wird man zugeben müssen, daß, wenn es eine an die motorische Innervation als solche gebundene Empfindung gäbe, eine solche kaum für sich allein, isoliert von der begleitenden motorischen Innervation, alteriert oder gar aufgehoben sein könnte, während es sehr wohl denkbar ist, daß bei den vielfach so verwickelten Verhältnissen der Funktionshemmung in hysterischen Zuständen die Verbindungen zwischen den gewöhnlich zusammenhängenden motorischen und sensorischen Zentren (*P* und *T* Fig. 165) gehemmt sein können, während die motorischen Innervationen von anderen Empfindungsgebieten her (also z. B. von den optischen) noch in Erregung versetzt werden. Psychologisch wird man daher, insofern hier Hemmungsvorgänge zentraleren Ursprungs eine Rolle spielen, diese Erscheinungen als Effekte der Aufmerksamkeit deuten müssen: indem der Gesichtseindruck Hemmungen beseitigt, die der Auffassung der spontanen Bewegungen im Wege stehen, macht er in diesen Fällen die Bewegungen selbst überhaupt erst möglich[1].

Hiernach sind die inneren Tastempfindungen als solche wahrscheinlich Resultanten aus Komponenten von dreierlei Art: erstens aus Druckempfindungen der Gelenke und der Haut, zweitens aus Empfindungen der Muskeln und Sehnen, die infolge der Spannung und der Kontraktion der Muskeln eintreten, und drittens aus zentralen Mitempfindungen, welche psychologisch als reproduktive Elemente zu allen zuvor genannten Empfindungen betrachtet werden können. Unter normalen Verhältnissen ist natürlich eine Trennung dieser Komponenten niemals, unter abnormen ist sie immer nur in beschränktem Grade möglich. Aus den Erscheinungen bei gestörter Verbindung der Komponenten und aus

---

Die Literatur über diese und andere, von DUCHENNE unter dem Namen der »conscience musculaire« zusammengefaßte Erscheinungen ist eine ziemlich reiche. Es sei hier hauptsächlich hingewiesen auf STRÜMPELL, Deutsches Archiv für klinische Medizin, Bd. 22, S. 352. (Beschreibung eines berühmt gewordenen typischen Falls.) PITRES, Des anésthésies hystériques. 1887, p. 73. GLAY, Revue philos. t. 20, 1885, p. 601. A. BINET, ebend. t. 25, 1888, p. 476. CHARLTON BASTIAN, Brain, vol. 10, 1887, p. 1 ff. PICK, Zeitschr. f. Psychol. Bd. 14, 1898, S. 261.

[1] Vgl. die Erörterungen über das Apperzeptionszentrum, Bd. 1, Kap. VI, S. 378 ff.

der Vergleichung passiver und aktiver Bewegungen unter normalen Verhältnissen aber scheint sich zu ergeben, daß die Empfindungen in den Muskeln und Sehnen und die ihnen entsprechenden zentralen Reproduktionen die Kraftempfindung konstituieren, während die Lageempfindung vorzugsweise von den Gelenkempfindungen und Druckempfindungen der Haut abhängt. Alle diese Komponenten scheinen aber qualitativ einander ähnlich zu sein, wodurch, ebenso wie durch ihre fortdauernde Verbindung, ihre Verschmelzung im Bewußtsein begünstigt wird.

In der älteren Physiologie wurden die inneren Tastempfindungen nicht von den äußeren unterschieden. CHARLES BELL war der erste, der die Annahme eines spezifischen Muskelsinns aufstellte, der dann von E. H. WEBER als Kraftsinn bezeichnet und von dem Tastsinn namentlich auf Grund der feineren Empfindlichkeit beim Heben von Gewichten gesondert wurde[1]. Doch hob schon J. MÜLLER hervor, daß hierbei möglicherweise auch eine die zentrale Innervation begleitende Empfindung beteiligt sein könnte[2]. Eine Stütze fand diese Vermutung in der Beobachtung der bei paralytischen und paretischen Zuständen besonders der Augenmuskeln eintretenden Täuschungen[3]. Sie schienen ebenso sehr gegen die ausschließlich periphere Quelle der Muskelempfindungen wie gegen die von einigen Philosophen aufgestellte These zu sprechen, daß wir durch die bloße Existenz unseres Willens ohne begleitende Empfindung ein Bewußtsein unserer Bewegungen besäßen[4]. Weitere Anhaltspunkte boten dann die Bewegungsstörungen dar, die bei totaler oder partieller Anästhesie sich einstellen. So wird durch Störungen der Hautempfindlichkeit bei erhaltener Bewegungsfähigkeit das Symptomenbild der sogenannten Ataxie hervorgerufen: man beobachtet es bei Tieren, denen die hinteren Wurzeln der Rückenmarksnerven durchschnitten sind[5], bei Fröschen mit enthäuteten Beinen[6], und vor allem bei Menschen mit pathologischen Sensibilitätsstörungen[7]. Diese Ataxie infolge von Hautanästhesie besteht in einer Unsicherheit in der Ausführung der Bewegungen, ohne daß die zweckmäßige Koordination der letzteren oder auch nur die richtige Anpassung an die erstrebten Zwecke ganz aufgehoben wäre. Darum läßt sich aber auch aus diesen Erscheinungen nur folgern, daß der Hautsensibilität ein gewisser Anteil an den Bewegungsempfindungen zukommt; ob und in welchem Umfang noch andere Elemente bei diesen beteiligt seien, bleibt unsicher. In der Tat sind daher die betreffenden Beobachtungen in entgegengesetztem

---

[1] CH. BELL, Physiologische und pathologische Untersuchungen des Nervensystems. Übers. von ROMBERG. 1836, S. 185 ff. E. H. WEBER, Art. Tastsinn und Gemeingefühl, S. 582.

[2] J. MÜLLER, Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 2, S. 500.

[3] LANGENHAUN, Dissert. Berlin. 1858. ALBR. VON GRAEFE, Symptomatologie der Augenmuskellähmungen. 1867. WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. 1861, S. 400 ff. A. BAIN, The senses and the intellect[2]. 1864, p. 92.

[4] TRENDELENBURG, Logische Untersuchungen[2]. Bd. 1, S. 242. GEORGE, Lehrbuch der Psychologie. 1854, S. 231.

[5] SCHIFF, Physiologie. Bd. 1, S. 113.

[6] CL. BERNARD, Leçons sur la physiol. du syst. nerv. 1858, p. 254.

[7] LEYDEN, VIRCHOWS Archiv, Bd. 67, S. 336 ff.

Sinne verwertet worden. Während SCHIFF sie benutzte, um alle Bewegungsvorstellungen aus Druckempfindungen abzuleiten, schlossen W. ARNOLD [1], CL. BERNARD u. A. aus den verhältnismäßig gut geordneten Bewegungen enthäuteter Frösche auf die Existenz eines besonderen Muskelsinns. Gegen die Annahme SCHIFFS spricht jedoch schon die oben erwähnte, von E. H. WEBER festgestellte Tatsache, daß wir durch die bloße Druckempfindung zwei Gewichte weniger fein unterscheiden als mittels der hebenden Bewegung [2]. Außerdem fanden LEYDEN und BERNHARDT, daß bei Sensibilitätsstörungen der Haut die Empfindlichkeit für das Heben von Gewichten in normaler Größe fortbestehen kann [3]. Auch diese Beobachter sahen daher hierin einen Beweis für die Existenz zentraler Innervationsempfindungen, um so mehr, da selbst in solchen Fällen, wo die Muskeln atrophisch geworden waren und ihre elektrische Reizbarkeit verloren hatten, noch die Wahrnehmung der Stellung und Bewegung der Glieder in einem gewissen Grade erhalten blieb [4]. Zum gleichen Ergebnis kamen BERNHARDT [5] und WALLER [6] in Versuchen an Gesunden, in denen sie die Unterschiedsempfindlichkeit für gehobene Gewichte bei willkürlicher und bei elektrischer Erregung der Muskeln verglichen. Im ersteren Fall fand sich die Unterscheidung erheblich feiner als im zweiten, doch übertraf sie auch hier noch in BERNHARDTS Versuchen die Druckempfindlichkeit der Haut, während sie WALLER ungefähr dieser gleich fand. Immerhin sind in diesen Tatsachen entscheidende Beweisgründe für eine außerhalb der Bewegungsorgane gelegene Quelle der Bewegungsempfindungen nicht enthalten, da bei der elektrischen Reizung möglicherweise die nebenhergehenden Wirkungen des elektrischen Stromes auf die Hautnerven die Unterscheidung erschweren können. In der Tat ergab sich aus den Beobachtungen GOLDSCHEIDERS, daß vor allem den Gelenkempfindungen sowohl bei der Auffassung der passiven wie der aktiven Bewegungen eine Bedeutung zukommt, die bisher fast ganz übersehen worden war, obgleich schon A. RAUBER darauf hingewiesen hatte, daß vielleicht die in großer Zahl in der Nähe der Gelenke sich findenden VATERschen Körperchen als die wahren Substrate des sogenannten Muskelsinns anzusehen seien [7]. Teils diese Nachweise über die Gelenkempfindungen, teils die Beobachtungen jener pathologischen Fälle, in denen bei vollkommener Anästhesie der peripheren Organe die willkürlichen Bewegungen nur noch durch den Gesichtssinn einigermaßen sicher regiert werden konnten, veranlaßten nun wieder viele Beobachter, nicht nur die Existenz der sogenannten Innervationsempfindungen, sondern auch die der Muskelempfindungen ganz zu bestreiten. Dabei wurden dann die auf die ersteren bezogenen Erscheinungen meist auf ein unmittelbares Bewußtsein der Bewegungen und auf den Einfluß gewisser psychischer Faktoren, wie

[1] Über die Verrichtungen der Wurzeln der Rückenmarksnerven. 1844, S. 107 ff.

[2] Vgl. Bd. 1, Kap. IX, S. 671.

[3] LEYDEN, a. a. O. BERNHARDT, Archiv für Psychiatrie, Bd. 3, S. 618.

[4] LEYDEN, a. a. O. S. 330. BERNHARDT, a. a. O. S. 632.

[5] BERNHARDT, a. a. O. S. 629 ff.

[6] A. WALLER, Brain, vol. 14, 1891, p. 229 ff.

[7] A. RAUBER, VATERsche Körper der Bänder- und Periostnerven und ihre Beziehung zum sogen. Muskelsinn. 1865. GOLDSCHEIDER, Ges. Abhandlungen, Bd. 2, 1898. (Archiv für Physiologie, 1887—1888.) Über die Reizschwelle für Gelenkbewegungen siehe oben Bd. 1, S. 673.

des Willens, der Aufmerksamkeit u. dgl. zurückgeführt. J. LOEB[1] suchte diese abstrakte Willenstheorie, die als ein merkwürdiges Überlebnis spekulativer Philosophie und psychologischer Vermögensbegriffe in die moderne Physiologie hineinragt, sogar experimentell zu stützen. Aus Versuchen über die Unterschiede gewollter und wirklich ausgeführter Bewegungen der Arme bei verbundenem Auge glaubte er schließen zu dürfen, die Empfindung der Größe und der Richtung unserer willkürlichen Bewegungen hänge nur vom Willensimpuls zur Bewegung, nicht von den bei der Bewegung im tätigen Organ ausgelösten Empfindungen ab. Seine Experimente bestanden darin, daß er die Versuchsperson eine Bewegung, deren Anfangs- und Endpunkt markiert war, längs eines auf einer Tafel gespannten Fadens mit der einen Hand ausführen und mit der andern Hand dieselbe Bewegung frei nachmachen ließ. Hierbei fand sich, daß in vertikaler Richtung die nachgeahmte Bewegung nach aufwärts größer, nach abwärts kürzer war, während auf horizontale Bewegungen nicht die Höhenlage, wohl aber die seitliche Ablenkung des Armes einen ähnlichen Einfluß besaß. Da die Ergebnisse bei belastetem und unbelastetem Arm übereinstimmend ausfielen, so schloß LOEB, bei denselben übe die Anstrengung der Muskeln gar keine, ihre Verkürzung oder Verlängerung aber die entscheidende Wirkung aus, indem ihre Reizbarkeit mit der Verkürzung ab- und mit der Verlängerung zunehme. Nun wurde bei diesen Versuchen die Winkeldrehung des Armes jedesmal in eine geradlinige Bewegung umgewandelt, sei es, daß man jene auf eine ebene Tafel projizierte, sei es, daß eine mit ihrem Umfang wachsende Streckung hinzukam[2]. Unter beiden Bedingungen wird aber nicht eine einfache Drehbewegung des Armes gemessen, sondern im ersten Fall eine geometrische Projektion derselben, im zweiten eine Resultante aus ihr und einer anderen hinzukommenden Bewegung[3]. Sucht man diesen Fehler zu vermeiden, indem man, unter möglichster Beschränkung der Bewegungen auf ein Gelenk, also z. B. auf das Oberarmgelenk, die Winkelbewegungen direkt registriert, so bestätigen sich jedoch LOEBS Resultate nicht, sondern die Fehler schwanken bei Bewegungen verschiedenen Umfangs und verschiedener Richtung immer innerhalb derselben Grenzen. Zugleich zeigt sich, daß bei langsameren Bewegungen, wie leicht begreiflich, im allgemeinen die Neigung zur Überschätzung, bei schnelleren die zur Unterschätzung überwiegt[4].

Neben dem Willensimpuls hat man zuweilen auch die Dauer der Bewegung als einen für die Auffassung derselben maßgebenden psychologischen Faktor betrachtet. Hiernach sollen wir den Umfang einer Bewegung nach der Größe der dazu gebrauchten Zeit abschätzen[5]. Doch fanden CATTELL und

---

[1] J. LOEB, PFLÜGERS Archiv, Bd. 41, S. 107 ff. Bd. 46, S. 1 ff.

[2] Letzteres Verfahren scheint nach seiner Beschreibung der Verf. bei der Herstellung der Vergleichsstrecken in den früheren Versuchen (PFLÜGERS Archiv, Bd. 41, S. 109), ersteres bei den späteren (ebend. Bd. 46, S. 6 f.) eingeschlagen zu haben.

[3] Dies ist auch bei den Versuchen von MAX FALK (Versuche über die Raumschätzung mit Hilfe von Armbewegungen. Dissert. Dorpat. 1890) und von DELABARRE (Über Bewegungsempfindungen. 1891, S. 101) der Fall, bei denen Normal- wie Vergleichsstrecke durch die Fortschiebung eines auf Schienen laufenden Wagens hergestellt wurden.

[4] Näheres über diese von O. KÜLPE und A. SEGSWORTH ausgeführten Versuche vgl. in der 4. Aufl. dieses Werkes, Bd. 1, S. 429.

[5] FERRIER (Funktionen des Gehirns, S. 246) wurde durch die langsamen Bewegungen paretischer Patienten auf diese Vermutung geführt; G. E. MÜLLER (PFLÜGERS Archiv, Bd. 45,

FULLERTON[1] in Versuchen, in denen sie die Schätzung der Unterschiede gehobener Gewichte und der Zeiten der Erhebung unmittelbar verglichen, daß beide Schätzungen einen ganz verschiedenen Verlauf darbieten, und daß die Zeitunterschiede der Erhebung viel genauer aufgefaßt werden als die Gewichtsunterschiede. Dabei schließt natürlich diese Selbständigkeit beider Faktoren der Bewegungsvorstellung einen gelegentlichen Einfluß des einen auf den andern infolge der sich bildenden Assoziationen zwischen ihnen nicht aus. So sind wir z. B. geneigt, den Umfang einer langsamen Bewegung und die Größe eines langsam gehobenen Gewichtes relativ zu überschätzen, den Umfang einer schnellen Bewegung und die Größe eines rasch gehobenen Gewichtes dagegen zu unterschätzen, weil wir in der Regel kleine Gewichte schneller als große heben, und weil wir zu größeren Bewegungen längere Zeit als zu kleineren nötig haben. Wie dieser Einfluß geläufiger Assoziationen ein sekundärer ist, der mit den direkten Komponenten der Bewegungsempfindung nichts zu tun hat, so auch der Einfluß der Erwartung oder der von MÜLLER und SCHUMANN sogenannten »Einstellung«. Wir unterschätzen bekanntlich unerwartet kleine, und wir überschätzen unerwartet große Reize. (Vgl. oben S. 29.) Diese Erscheinungen sowie die mit ihnen nahe zusammenhängenden des durch Gesichtseindrücke erweckten Erwartungskontrastes sind von großem Interesse für die Theorie der Aufmerksamkeit, wo sie uns näher beschäftigen werden (Abschn. V), rücksichtlich der Komponenten der Bewegungsempfindungen lassen sie aber keine Schlüsse zu.

Daß bei der Regulierung unserer Körperbewegungen zentrale Komponenten der Kraft- und Lageempfindungen eine wichtige Rolle spielen, scheint mir nun angesichts der Fälle pathologischer Bewegungsstörungen, die auf andere Weise nicht oder nur unter Zuhilfenahme völlig aus der Luft gegriffener psychologischer Hilfskräfte erklärt werden können, unabweislich. Nicht minder dürften aber die oben angeführten allgemeinen Gründe vielmehr dafür sprechen, sie als sensorische Miterregungen und Mitempfindungen, nicht als Innervationsempfindungen zu deuten[2]. Namentlich sind in dieser Beziehung die am genauesten untersuchten Lokalisationsstörungen bei Paralyse oder Parese der Augenmuskeln von entscheidender Bedeutung. Wenn daher z. B. FERRIER, dem darin manche Andere gefolgt sind, die Empfindungen, welche die Willensanstrengungen paralytischer Kranker begleiten, aus den unwillkürlichen Mitbewegungen ungelähmter Teile ableitet, die besonders stark bei fruchtlosen Willensanstrengungen einzutreten pflegen[3], so ist zuzugeben, daß in solchen

S. 37) umgekehrt durch das schnelle Tempo, in welchem Gewichte gehoben werden, die man sich zuvor größer vorgestellt hat.

[1] FULLERTON and CATTELL, On the Perception of small differences. 1892, p. 103 ff.

[2] Als »zentral ausgelöste Reproduktionen der Bewegungsempfindungen« habe ich sie daher schon in der 3. Aufl. dieses Werkes bezeichnet (Bd. 1, S. 404); ebenso gleichzeitig und unabhängig davon MÜNSTERBERG (Die Willenshandlung, 1888, S. 145). L. KERSCHNER hat den Schwierigkeiten der Annahme von Innervationsempfindungen dadurch zu begegnen gesucht, daß er dieselben auf eine Reizwirkung zurückführte, welche die Erregung der motorischen Nerven im Muskel auf die sensibeln Nervenendigungen in demselben ausübe (Ber. des naturw.-med. Vereins in Innsbruck, 1896—97). Aber wenn sich daraus auch die Entstehung von Bewegungsempfindungen bei Gesunden ohne wirkliche Kontraktion des Muskels begreifen ließe, so gilt das doch nicht für die Empfindungen der Paralytiker, bei denen die motorische Erregung überhaupt nicht zu den Muskeln gelangt.

[3] FERRIER, a. a. O. S. 247.

Mitbewegungen ein Teil des Komplexes von Empfindungen seine Quelle haben mag; aber zur Erklärung der Täuschungen bei der Parese reichen sie nicht aus. Dies zeigen in schlagendster Weise die oben eingehend erörterten Sehstörungen bei der Paralyse oder Parese des Abducens. Wenn trotzdem manche Psychologen diese Störungen aus Mitbewegungen des gesunden Auges erklären wollen[1], so beruht dies augenscheinlich auf unzulänglicher Kenntnis der Tatsachen. Der einzige Weg, wenn man die zentralen Empfindungskomponenten vermeiden wollte, würde hier der sein, mit HERING und den ihm folgenden Ophthalmologen anzunehmen, daß in solchen Fällen nicht irgendwelche Empfindungen die Lokalisation der Lichteindrücke bestimmen, sondern der »Aufmerksamkeitsort« oder der »Wille, die Sehdinge an einer bestimmten Stelle des Raumes zu sehen«[2]. Daß diese Annahme psychologisch unmöglich ist, sollte sich doch wohl von selbst verstehen.

Augenscheinlich hat, abgesehen von dem Zusammenhang der zuletzt erwähnten Annahme mit den später (in Kap. XIV) zu erörternden Raumtheorien, das Streben, allen inneren Tastempfindungen eine möglichst einfache Grundlage zu geben, vieles zur Aufstellung solcher unhaltbarer Hilfshypothesen beigetragen. Auch macht es gerade die verwickelte Natur der hier vorliegenden Empfindungskomplexe begreiflich, daß die Störungen, die infolge zentraler Funktionslähmungen auftreten, ein außerordentlich mannigfaltiges Bild darbieten können. Dazu kommt der Umstand, daß namentlich die zentralen Komponenten wohl je nach individuellen Bedingungen einen verschiedengradigen Einfluß ausüben, wie dies die verschiedene Deutlichkeit, mit der Amputierte ihre Empfindungen in die verlorenen Glieder verlegen, wahrscheinlich macht. Legt man es darauf an, zu beweisen, daß irgendeiner der mutmaßlich beteiligten Faktoren der allein wirksame sei, so ist es daher, besonders wenn man noch die hysterischen Lähmungen zu Hilfe nimmt, nicht allzu schwer, durch passende Auswahl aus den klinischen Berichten ein Beweismaterial zustande zu bringen. Richtiger wird freilich die Aufgabe gestellt sein, wenn man sie so zu lösen sucht, daß sich aus ihr die sämtlichen Tatsachen der normalen und der pathologischen Erfahrung widerspruchslos ableiten lassen. Da nun in Wirklichkeit unsere Bewegungsvorstellungen stets durch Assoziation vieler Empfindungen bestimmt werden, so ist es im allgemeinen begreiflich, daß unter gewissen Bedingungen die Ausschaltung einer der Komponenten die nämlichen Effekte herbeiführen kann, wie die Beseitigung des ganzen Komplexes. Gerade darum ist es aber falsch, bei der Beurteilung pathologischer Erfahrungen bloß das methodologische Prinzip der Ausschaltung zu befolgen, und dagegen das Prinzip des direkten Einflusses zu vernachlässigen. Wird durch die Herausnahme eines einzigen Gliedes aus einer Kette physiologischer Ursachen eine Funktion aufgehoben, so beweist dies im allgemeinen, daß das herausgenommene Glied notwendig, aber es beweist nicht, daß es das einzige sei. Berücksichtigt man alle Momente, so wird nun von vornherein schon durch die physiologische Beschaffenheit der Bewegungsorgane die Annahme einer komplexen Natur der an die Bewegung gebundenen Empfindungen wahrscheinlich. Die Haut, die Ge-

[1] JAMES, Psychology, vol. 2, p. 506. EBBINGHAUS, Grundzüge der Psychologie, Bd. 1, 1902, S. 361.

[2] HERING, HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, I, S. 535.

lenke, die Muskeln sind sämtlich empfindungsfähig, und ihre Empfindungen können sämtlich peripher und zentral erzeugt werden. Es wäre daher geradezu wunderbar zu nennen, wenn von diesen bei der Bewegung erregten Empfindungen nur eine einen Einfluß besäße, oder wenn statt ihrer irgendeine aus ihrem Verlauf resultierende Vorstellung, wie die der Zeitdauer der Bewegung, oder gar ein abstraktes »Seelenvermögen«, wie der Wille oder die Aufmerksamkeit, diesen Effekt hervorbrächte. Gegen den Versuch, alle Bewegungsempfindungen auf Gelenkempfindungen zu reduzieren, ist speziell noch zu bemerken, daß die zweifellos vorhandenen subjektiven Unterschiede der Empfindung bei aktiver und bei passiver Bewegung für eine Beteiligung der Muskelempfindungen bei der ersteren in die Schranken treten. Wenn, wie GOLDSCHEIDER fand, aktive und passive Bewegung die gleiche Unterschiedsempfindlichkeit zeigen, so bildet dies keinen Gegenbeweis: denn es folgt daraus nur, daß der Umfang der Bewegung jedesmal nach den Gelenkempfindungen geschätzt wird. Davon bleibt aber der subjektive Unterschied beider Bewegungsempfindungen unberührt. Daß übrigens die Muskeln gegen mechanische Reize empfindlich sind, zeigte C. SACHS[1], indem er bei Fröschen nach Strychninvergiftung durch direkte Reizung der Muskeln Reflexkrämpfe auslöste. Auch fanden sich nach der Durchschneidung der hinteren Nervenwurzeln des Rückenmarks degenerierte Fasern in ihnen, während umgekehrt nach der Durchschneidung der motorischen Wurzeln nicht alle im Muskel enthaltenen Nervenfasern degenerierten. Wahrscheinlich gehören diese sensibeln Fasern allerdings nicht der eigentlichen Muskelsubstanz, sondern den bindegewebigen Teilen des Muskels an. Endlich fand GOLDSCHEIDER[2] selbst, daß, wenn beim Menschen die einen Muskel bedeckende Haut durch Kokaininjektion anästhetisch gemacht ist, stärkere durch den elektrischen Strom erregte Kontraktionen noch empfunden und in der Tiefe lokalisiert werden. Auf eine Beteiligung mehrerer Faktoren an dem Zustandekommen der Bewegungsempfindungen lassen endlich noch die von A. WALLER[3] beobachteten Ermüdungserscheinungen schließen. Wird von einer Muskelgruppe so lange eine bestimmte Bewegung willkürlich ausgeführt, bis starke Ermüdung eingetreten ist, und wird dann die nämliche Muskelgruppe während einiger Zeit durch maximale elektrische Reize erregt, so fallen die nach dieser elektrischen Reizungsperiode wieder einsetzenden willkürlichen Zusammenziehungen stärker aus als die vorangegangenen letzten Willenserregungen gewesen waren: während der elektrischen Reizung ist also in einem gewissen Grad Erholung für den Willensreiz eingetreten. Ebenso kann, wie die Umkehrung der Versuche zeigt, während einer Reihe willkürlicher Kontraktionen eine Erholung für die elektrische Reizung eintreten. Daraus ist jedenfalls zu schließen, daß die Ermüdung nicht bloß ein peripherer Prozeß ist, sondern daß sie zugleich auf Veränderungen in den Innervationszentren der Muskeln beruht. Dagegen ist es wohl nicht gerechtfertigt, wenn WALLER selbst auf Grund dieses Ergebnisses wieder zu der Annahme unmittelbarer Innervationsempfindungen zurückkehrt, da eine Verbindung der motorischen und sensorischen Zentren, wie sie die Fig. 165 schematisch veranschaulicht, hier dasselbe leistet, während sie

---

[1] C. SACHS, Archiv für Anatomie und Physiologie, 1874, S. 175, 491, 645.
[2] GOLDSCHEIDER, Zeitschrift für klin. Medizin, Bd. 15, S. 109.
[3] A. WALLER, The Sense of Effort. Brain, vol. 14, 1891, p. 179. vol. 15, 1892, p. 380.

mit den in neuerer Zeit gewonnenen Aufschlüssen über die morphologischen Substrate der Leitungsrichtungen und über die Existenz zentrifugal-sensorischer Leitungsbahnen (Bd. 1, S. 237 u. a.) mehr übereinstimmt.

g. Die Gemeinempfindungen.

Rechnen wir, der oben (S. 2) aufgestellten Begriffsbestimmung gemäß, zur Klasse der Gemeinempfindungen alle Empfindungen, die einen ausschließlich subjektiven Charakter bewahren und dadurch wesentliche Attribute des Gemeingefühls bilden, so sind zunächst von seiten des Tastsinnes hierher zu zählen das Kitzeln, Schaudern, Jucken, Kriebeln, die Empfindung der Muskelermüdung usw. Jede dieser Empfindungen hat ihre eigentümliche qualitative Beschaffenheit, wenn sich auch eine Verwandtschaft mit bestimmten Druck- oder Temperaturempfindungen meist nicht verkennen läßt. Doch dürfte diese zum Teil darauf beruhen, daß bestimmte Tastreize mit den Druck- und Temperaturempfindungen zugleich Gemeinempfindungen auslösen, der schwache Druck eines weichen Körpers z. B. die Kitzelempfindung, der Kältereiz die Schauderempfindung u. dergl. Dies weist schon darauf hin, daß die Gemeinempfindungen auch in solchen Fällen, wo sie in einem bestimmten Sinnesorgan zu entstehen scheinen, dennoch eine von den gewöhnlichen Sinnesempfindungen verschiedene Quelle haben. In der Tat bemerken wir, daß eine Empfindung immer dann zu dem Gemeingefühl in nähere Beziehung tritt, wenn sie von mehr oder weniger ausgebreiteten Mitempfindungen begleitet ist. So scheinen die Empfindungen des Kitzelns, Juckens, Ameisenlaufens usw. wesentlich darauf zu beruhen, daß eine beschränkte, meistens sehr schwache Tastempfindung bald sich über eine größere Hautfläche ausbreitet, bald an ganz entlegenen Stellen ähnliche schwache Tastempfindungen hervorruft. Jede einzelne dieser Empfindungen würde als eine bloße Tastempfindung anzusprechen sein, sie alle zusammen konstituieren aber eine Gemeinempfindung. Auch von andern Sinnen, namentlich von dem Gehörssinne aus, können derartige Gemeinempfindungen des Tastorgans angeregt werden. So bewirken sägende und klirrende Geräusche oder der Anblick gewisser Hautverletzungen bei den meisten Menschen in geringem und bei manchen in heftigem Grade eine kriebelnde Hautempfindung, an der man deutlich eine sukzessive Ausbreitung bemerken kann. In vielen Fällen sind zugleich Muskelempfindungen beteiligt; namentlich bilden diese einen wesentlichen Bestandteil bei jener Empfindung des Schauderns, welche plötzlichen Kälteeinwirkungen und nicht selten auch andern Sinneseindrücken folgt. Die Ausbreitung der Erregungen geschieht hierbei im allgemeinen auf dem Wege des Reflexes, so daß bei den Gemeinempfindungen in der Regel

wohl Reflexempfindungen mitwirken, mögen diese nun, wie bei den Mitempfindungen, direkt durch Übertragung von sensiblen auf sensible Fasern, oder indirekt durch das Mittelglied von Reflexbewegungen zustande kommen. Hieraus geht hervor, daß in den peripheren Nervenausbreitungen nur die nächste Gelegenheitsursache der Gemeinempfindungen, ihre eigentliche Quelle aber in den Nervenzentren liegt, nach deren Zuständen sich daher auch erfahrungsgemäß das Verhalten dieser Empfindungen vorzugsweise richtet. Selbst die Ermüdungsempfindung der Muskeln zeigt diese Eigenschaft der Ausbreitung und charakterisiert sich dadurch als eine Gemeinempfindung: an der starken Ermüdung eines einzelnen Gliedes beteiligen sich die übrigen Muskeln des Körpers durch eine schwächere Empfindung von gleicher Beschaffenheit. Wahrscheinlich handelt es sich hier sogar nur um eine periphere Projektion von Empfindungen, deren eigentlicher Sitz ein zentraler ist. Denn jene sympathische Ermüdung ist aus den Zuständen der Muskeln selbst nicht zu erklären; sie erklärt sich aber leicht, wenn man erwägt, daß an dem durch eine einzelne Muskelgruppe geleisteten Kraftverbrauch das Zentralorgan mit seinem Energievorrat beteiligt ist. Ähnlich verhält es sich mit allen jenen Gemeinempfindungen, die für die Regulation gewisser Lebensvorgänge von Bedeutung sind: so mit den Hunger- und Durstempfindungen, der Empfindung des Luftmangels von den mäßigen Graden normalen Atembedürfnisses an bis zur intensivsten Atemnot. Sie alle sind nur zum Teil von den peripheren Organen abhängig, in denen sie lokalisiert werden; sie sind aber gebunden an bestimmte Zustände der Blutmischung, von denen wir annehmen müssen, daß sie in den zugehörigen Nervenzentren Erregungen auslösen, die teils unwillkürliche Bewegungen, teils Empfindungen und durch sie Bewegungen hervorrufen, die zu den betreffenden Funktionen in Beziehung stehen.

Eine hervorragende Klasse der Gemeinempfindungen bilden endlich die Schmerzempfindungen. Jede Gemeinempfindung und jede gewöhnliche Sinnesempfindung wird, wenn sie eine bestimmte Stärke erreicht, zum Schmerze. Dieser zeigt daher sehr mannigfache qualitative Formen und Färbungen. Es gibt schmerzhafte Tasteindrücke, Geräusche und Lichtreize; ebenso zeigt der Schmerz der innern Organe lokale Verschiedenheiten, die unter den Bezeichnungen brennend, stechend, reißend, bohrend u. dergl. in der Pathognomik der Organe eine gewisse Rolle spielen. Anderseits besitzt aber freilich der Schmerz, von welchem Teil er auch ausgehen möge, einen übereinstimmenden Charakter, so daß selbst bei den eigentlichen Sinnesempfindungen die spezifischen Unterschiede um so mehr sich ausgleichen, je mehr sie sich der Schmerzgrenze nähern. Es scheint daher, daß nicht sowohl die Schmerzempfindung

selbst, als ihre Intensität, ihre Ausbreitung und ihr zeitlicher Verlauf jene charakteristischen Unterschiede bedingen. So nennen wir einen Schmerz stechend, wenn er räumlich beschränkt ist und plötzlich eine große Intensität erreicht, brennend, wenn er in gleichförmiger Stärke über eine größere Fläche sich ausbreitet, reißend, wenn er allmählich zu seinem Maximum anwächst, bohrend, wenn er zwischen gewissen Grenzen der Intensität hin- und herschwankt. Die Gleichartigkeit des Schmerzes erklärt sich wohl daraus, daß er überall in Erregungsvorgängen der Empfindungsnerven selbst, nicht besonderer Endapparate derselben seine periphere Quelle hat, worauf auch die gleichförmige Verbreitung der Schmerzempfindlichkeit über das ganze Tastorgan und über die sensibeln Nerven hinweist. Die große Intensität des Schmerzes dagegen, mit der zugleich der später (in Kap. XI) zu besprechende intensive Gefühlswert desselben zusammenhängt, ist wahrscheinlich durch die umfangreiche Ausbreitung des Reizungsvorganges in der zentralen grauen Substanz bedingt. Bei dem Schmerz der innern Organe dürfte außerdem die geringere Reizbarkeit der sympathischen Nervenfasern eine Rolle spielen, da in denselben in der Regel erst dann merkliche Empfindungen entstehen, wenn der Reiz die Schmerzgrenze erreicht hat[1]. Im übrigen scheint nach den Erfahrungen der Chirurgen auch hier, ganz wie bei dem äußeren Tastorgan, die Schmerzempfindlichkeit mit dem Nervenreichtum der Teile gleichen Schritt zu halten. So ist das nervenreichste Gebiet der Baucheingeweide, der parietale Teil des Peritoneums, am häufigsten der Sitz intensiver Schmerzen, indes die mit sensibeln Nerven spärlicher ausgerüsteten Därme mechanischen Reizen gegenüber wenig empfindlich sind. Darum rühren die hier wie in andern innern Organen bei pathologischen Zuständen vorkommenden intensiveren Schmerzen wahrscheinlich von ausgebreiteten Miterregungen her[2].

Die weiteren Eigentümlichkeiten der Schmerzempfindung erklären sich zumeist aus dem zentralen Sitz der Erregungen. Hierher gehört vor allem die Ausstrahlung der Empfindung in zahlreichen Mitempfindungen, die im allgemeinen mit der Stärke des Schmerzes zunimmt und das empfindende Subjekt vollständig über den Sitz des Schmerzes täuschen kann; ferner die langsame Entstehung und Leitung der Schmerzerregungen. Es ist bekannt, daß bei Verwundungen der Haut oder anderer sensibler Teile zuerst nur ein Tasteindruck empfunden wird, dem dann merklich später, allmählich wachsend und sich ausbreitend, die Schmerzempfindung

[1] Z. Oppenheimer, Schmerz- und Temperaturempfindung. 1893, S. 125 ff.

[2] Meumann, Archiv für die ges. Psychol. Bd. 9, 1907, S. 26 ff. Bd. 14, 1909, S. 279 ff. E. Becher, Zeitschr. für Psychol. Bd. 49, 1908, S. 341 ff.

nachfolgt. Diese Unterschiede sind, wie G. BURCKHARDT[1] fand, schon unter normalen Verhältnissen nachzuweisen. Noch entschiedener treten sie aber bei gewissen Erkrankungen des Rückenmarks hervor, welche mit Erschwerungen der Leitung verbunden sind. Wenn man solchen Kranken Nadelstiche appliziert, so empfinden sie anscheinend momentan die Berührung, während der Schmerz erst nach 1—2 Sekunden perzipiert wird[2]. Einen Grenzfall dieses Verhaltens bildet die nicht selten bei hysterischen Kranken und in hypnotischen Zuständen beobachtete Erscheinung, daß überhaupt nur die Tastempfindung entsteht, die Schmerzempfindung aber ausbleibt, ein Zustand, der ähnlich auch durch die anästhetischen Betäubungsmittel oder bei Tieren auf vivisektorischem Wege durch die Trennung der grauen Rückenmarkssubstanz bei Erhaltung der weißen Markstränge herbeigeführt werden kann[3]. Unter diesen Umständen ist es begreiflich, daß die pathologische Beobachtung den Mangel der Schmerzempfindung geradezu als ein Symptom aufzufassen pflegt, das auf zentrale Störungen schließen lasse[4]. Zugleich wird hierdurch die allmähliche Steigerung und Ausbreitung des Schmerzes, ohne daß doch der periphere Reiz eine Veränderung erfährt, erklärlich. Denn diese Tatsache fügt sich vollständig den normalen Erscheinungen der Summation der Erregungen und der Steigerung der Erregbarkeit (Bd. 1, S. 139 f.). Je mehr aber solche Erscheinungen auf allgemeinen Eigenschaften der zentralen Substanz beruhen, um so weniger rechtfertigen sie die zuweilen aufgetauchte Hypothese eines spezifischen Schmerzzentrums[5], oder auch nur die Annahme, daß für die Schmerzreize eigentümliche, von den sonstigen sensiblen Nerven durchgehends getrennte Leitungswege existieren[6]. Denn die Erscheinungen der längeren Latenzzeit, der langsameren Leitung, der weiteren Ausbreitung der Erregungen, durch welche sich die Schmerzempfindungen auszeichnen, lassen sich unschwer aus der

---

[1] G. BURCKHARDT, Die physiologische Diagnostik der Nervenkrankheiten. 1875, S. 79 ff.

[2] OSTHOFF, Die Verlangsamung der Schmerzempfindung bei Tabes dorsalis. Dissert. Erlangen. 1874. LEYDEN, Klinik der Rückenmarkskrankheiten. ZIEMSSENs Handbuch der Pathologie, Bd. 11, S. 2. In seltenen Fällen ist auch das Gegenteil beobachtet worden, nämlich langsamere Leitung der Tast- als der Schmerzeindrücke. Es dürfte sich hierbei vielleicht um pathologische Zustände des Rückenmarks handeln, die den der Strychninvergiftung folgenden ähnlich sind. Auch bei der letzteren beobachtet man enorme Unterschiede der Leitungsgeschwindigkeit für schwache und starke Reize. Siehe Bd. 1, S. 128 und meine Untersuchungen zur Mechanik der Nerven, Bd. 2, S. 70 ff.

[3] Vgl. Bd. 1, S. 206.

[4] RICHET, Recherches sur la sensibilité, 1877, p. 284. Revue philos. t. 4, 1877, p. 457. RAYMOND et PIERRE JANET, Névrose et idées fixes. (Travaux de la Salpêtrière, II.) 1898, s. v. douleur.

[5] RICHET, a. a. O. p. 296.

[6] SCHIFF, Physiologie, Bd. 1, S. 251 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 28, 29, S. 357. Bd. 30, S. 199 ff. GOLDSCHEIDER, Ges. Abhandl. Bd. 1, S. 391.

Voraussetzung erklären, daß die Schmerzreize mehr als andere Reize die Eigenschaft besitzen, die Leitungsbahnen durch die graue Substanz des Rückenmarks einzuschlagen, während die taktilen Erregungen vorzugsweise in den weißen Marksträngen geleitet werden. Alle jene Eigenschaften der Schmerzerregung erinnern in der Tat unmittelbar an die Erregbarkeitsverhältnisse der zentralen Substanz (Bd. 1, S. 123 ff.). Es ist aber an und für sich viel wahrscheinlicher, daß die Schmerzerregung teils vermöge ihrer Intensität teils vielleicht auch wegen der ihr schon bei der peripheren Entstehung eignen extensiven Ausbreitung über ein größeres Fibrillennetz vorzugsweise den Weg durch die graue Substanz nimmt, als daß dies infolge der Existenz einer besonderen, im übrigen anatomisch nicht nachzuweisenden Gattung von Schmerzfasern geschehen sollte[1].

2. Geruchs- und Geschmacksempfindungen.

a. Geruchsempfindungen.

Die Untersuchung der Empfindungen der beiden chemischen Sinne bietet deshalb Schwierigkeiten, weil Geschmacks- und Geruchseindrücke in der Regel zusammen einwirken und zu komplexen Vorstellungen verschmelzen, aus denen nur die Geschmacksempfindungen durch Ausschaltung des Geruchsorgans mit Sicherheit gesondert werden können. Dazu kommt, daß sich die Geschmacksempfindungen immer, die Geruchsempfindungen wenigstens zuweilen mit Erregungen der Tastnerven der Zunge und der Nasenschleimhaut verbinden. Von beiden Sinnesgebieten ist aber das des Geruchssinns das weitaus mannigfaltigere. Es umfaßt eine fast unabsehbare Menge wohl unterscheidbarer Qualitäten, die nur einen sehr unvollkommenen Ausdruck in den Bezeichnungen der Sprache gefunden haben, da diese meist nur größere Gruppen von Geruchsqualitäten voneinander scheidet, indem sie dieselben in der Regel nach einzelnen riechenden Substanzen benennt, die als Hauptrepräsentanten der betreffenden Empfindungen gelten.

Die Geruchsorgane des Menschen und wohl auch die aller andern Lufttiere können wahrscheinlich bloß durch Gase oder Dämpfe erregt werden. Alle Gase und Dämpfe aber, mit Ausnahme der atmosphärischen Luft und ihrer beiden Hauptbestandteile, Sauerstoff und Stickstoff, scheinen als Geruchsreize zu wirken. Auch der Wasserdampf z. B.,

[1] Vgl. über diese Verhältnisse sowie über die hier einschlagenden Anomalien der Schmerzempfindung (Analgesie, Hyperästhesie) und die bei ihnen wahrscheinlich vorkommenden Leitungsverhältnisse die 4. Aufl. dieses Werkes, Bd. 1, S. 108 ff.

der in geringen Mengen nicht riecht, zeigt in größeren einen deutlichen Geruch. Dagegen ist es zweifelhaft, ob Geruchsreize empfunden werden, wenn sie nicht in gas- oder dampfförmigem, sondern in flüssigem Zustand mit der Nasenschleimhaut in Berührung kommen[1]. Doch bestehen offenbar in dieser Beziehung in der Reizbarkeit des Riechepithels wesentliche Unterschiede zwischen den in der Luft und den im Wasser lebenden Tieren, da die meisten Fische hoch ausgebildete Geruchsorgane besitzen, während ihnen doch die Riechstoffe nur in wässeriger Lösung zugeführt werden können. Wenn anderseits die im Meere lebenden Säugetiere, die Cetaceen, den Geruchssinn völlig eingebüßt haben, so mag dies darauf beruhen, daß ursprünglich die Geruchsorgane dieser Tiere ebenfalls, wie die aller andern Säugetiere, auf Luftatmung eingerichtet waren.

An eine Klassifikation der Geruchsqualitäten ist bei unserer mangelhaften Kenntnis ihrer wechselseitigen Beziehungen nicht zu denken. Man kann höchstens versuchen, die riechenden Substanzen nach der Ähnlichkeit der Gerüche, die sie erzeugen, in gewisse Gruppen zu bringen, von denen eine jede die Gerüche von verwandter Qualität enthält. So unterscheidet ZWAARDEMAKER neun Gruppen, nämlich: 1) ätherische, 2) aromatische, 3) balsamische, 4) ambrosische (Amber-Moschus), 5) lauchartige (Allyl-Cacodyl), 6) brenzliche, 7) bockähnliche (Capryl), 8) widerliche, 9) ekelhafte Gerüche[2]. Diese Einteilung zeigt nun im allgemeinen, daß chemisch verwandte Stoffe auch ähnliche Gerüche hervorbringen. Die auffallendsten Ausnahmen, die dieser Satz erleidet, sind wahrscheinlich durch Vermischung der Geruchs- mit Geschmacksempfindungen oder mit Reizungen der sensiblen Tastnerven der Nasenschleimhaut verursacht. So ist von dem süßlich-fauligen Geruch des Schwefelwasserstoffs nur das

---

[1] E. H. WEBER, Tastsinn und Gemeingefühl, S. 499. VON VINTSCHGAU, HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, 2, S. 257 f. Im Gegensatz zu diesen Angaben fand allerdings ARONSOHN (Archiv für Physiologie, 1886, S. 321 ff.), daß Geruchsstoffe wirkten, wenn sie in verdünnter Kochsalzlösung mit der Nasenschleimhaut in Berührung kamen. Aber da alle Geruchsstoffe verdampfbar sind, so bleibt der Einwand möglich, daß bei seinen Versuchen Dämpfe der Flüssigkeit in den Riechraum eindrangen.

[2] ZWAARDEMAKER, Die Physiologie des Geruchs. 1895, S. 216. Vgl. ebend. die ältere ziemlich reiche Literatur über den Gegenstand S. 207 ff. Sieben unter den von ZWAARDEMAKER unterschiedenen Klassen sind schon von LINNÉ aufgestellt, nur 1 und 6 hat er späteren Autoren (LORRY und HALLER) entnommen. Eine Klassifikation der Gerüche nach rein psychologischen Gesichtspunkten hat GIESSLER (Wegweiser zu einer Psychologie des Geruchs. 1894) zu geben gesucht, indem er teils die Reflexbewegungen, teils die Gefühle und Affekte in Betracht zog, die an die Empfindungen gebunden sind. Da es sich aber hierbei überall um sekundäre Wirkungen oder Begleiterscheinungen der Empfindungen handelt, so bieten die Beobachtungen GIESSLERS zwar manches was für die Gefühlswirkungen der Gerüche von Interesse ist, zu einer Klassifikation der reinen Geruchsempfindungen aber, bei der gerade von solchen Gefühlsmomenten möglichst abstrahiert werden muß, eignen sie sich nicht.

Faulige Geruch, das Süßliche aber Geschmacksempfindung. Ähnlich gehören Chloroform und Äther als Gerüche zur ätherischen Gruppe (1), daneben aber wirkt das Chloroform als süßer, der Äther als bitterer Geschmacksstoff, und beide können überdies auf die Tastnerven, entweder infolge ihrer Verdunstung als Kältereize oder durch direkte Erregung als Schmerzreize, einwirken[1]. Ferner wird überall, wo wir die Bezeichnung stechend für einen Geruch gebrauchen, die Vermengung mit einer Empfindung der Tastnerven anzunehmen sein: so z. B. bei der Einwirkung des Ammoniak und der Kohlensäure. In solchen Fällen kann sich die eigentliche Geruchsempfindung sehr verschieden verhalten, sie wird jedoch, namentlich wenn sie schwach ist, durch die begleitende Tastempfindung zurückgedrängt. Diese letztere ist es auch, die je nach ihrer Intensität in verschiedenem Grade die Reflexbewegung des Niesens auslöst, wodurch sich dann noch eine Muskelempfindung mit den übrigen Elementen kompliziert. So sind auch unter den oben unterschiedenen Gruppen ZWAARDEMAKERs die beiden letzten, die widerlichen und ekelhaften Gerüche, jedenfalls keine reinen Geruchs-, sondern zum größeren Teil Gemeinempfindungen, und zwar wahrscheinlich Muskelempfindungen, die infolge ausgelöster Reflexe entstehen; ob nach Abzug dieser Bestandteile noch eine spezifische Geruchsempfindung übrig bleiben würde, ist zweifelhaft. Anderseits ist es freilich nicht minder fraglich, ob die oben aufgezählten neun Gruppen alle wirklich unterscheidbaren Geruchsqualitäten umfassen.

Gegenüber dem Tast- und Geschmackssinn zeichnet sich der normale Geruchssinn des Menschen durch eine sehr große Empfindungsschärfe, namentlich gegenüber gewissen Geruchsstoffen organischen Ursprungs, aus. Dies ist um so bemerkenswerter, weil einerseits die Regio olfactoria der Nasenschleimhaut einen sehr geringen Raum einnimmt: das in Fig. 129, (Bd. 1, S. 463) dargestellte Riechepithel erstreckt sich nicht weiter als über eine 10—12 mm im Durchmesser umfassende Fläche im obersten Bezirk der oberen Nasenmuschel, also in größter Entfernung vom Naseneingang, so daß beim gewöhnlichen Einatmen nur sehr kleine Anteile der Inspirationsluft bis zu dieser Region diffundieren können. Dem gegenüber erscheint nun die Riechschwelle als eine außerordentlich niedrige, namentlich gegenüber gewissen wenig verdunstbaren organischen Substanzen, wie Kampfer, Moschus, Mercaptan. So fand PASSY[2], wenn man als Werte der Reizschwelle diejenige Gewichtsgröße einer Substanz in Tausendteilen eines Milligr. ansetzt, die in 1 Liter Luft verteilt eben empfindbar ist, folgende Schwellenwerte:

[1] ROLLETT, PFLÜGERS Archiv für Physiologie, Bd. 74, 1899, S. 383 ff.
[2] PASSY, Comptes rend. de la soc. de Biologie, 1892, p. 84, 137.

Orangenessenz	0,5—4	Cumarin	50—10
Wintergrünessenz	0,5—4	Vanillin	50—0,5
Rosmarin	0,05—2	Natürl. Moschus	10
Äther	0,5—5	Künstl. Moschus	0,01—0,005
Folia menthae	0,005—0,05	Mercaptan (C_2H_5SH)	0,00004 (nach Fischer und Penzoldt).
Kampfer	5000		
Zitral	500—100		

Diese Reizempfindlichkeit ist um so auffallender, als das Geruchsorgan des Menschen im Vergleich mit dem vieler Tiere wenig entwickelt ist (Bd. 1, S. 175 f.). Freilich ist zugleich zu erwägen, daß dabei zunächst nur die Vergleichung mit dem Geschmackssinn in Betracht kommt, während die photochemischen Zersetzungen durch Lichtreize wahrscheinlich noch sehr viel geringere chemische Energiegrößen darstellen. Zu beachten ist ferner, daß zu den wirksamsten Geruchsstoffen solche gehören, die eine sehr geringe Verdunstungsgröße besitzen, während sie zugleich von hohem Molekulargewicht und schwer zersetzbar sind, so daß sie an ihren Trägern außerordentlich lange und innig festhaften (Moschus, Mercaptan u. ähnl.). Neben diesen abweichenden Verhältnissen der Reizschwelle und der Tenazität bieten endlich die verschiedenen Gerüche auch noch in der Intensität der Empfindung erhebliche Unterschiede, die im ganzen von der Reizschwelle unabhängig zu sein scheinen, indem gewisse Gerüche, wie Vanille, Veilchen, unter allen Umständen den Geruchssinn weniger erregen als andere, wie Kampfer, Benzol, Mercaptan u. a.; und bei den schwach riechenden Substanzen scheint dann auch im allgemeinen die Unterschiedsempfindlichkeit geringer zu sein als bei den stark riechenden[1]. Mit diesen Differenzen, die uns ähnlich auch bei den andern chemischen Sinnen (den Geschmacks- und Farbenempfindungen) begegnen werden, hängen sichtlich zugleich die mannigfachen individuellen Unterschiede der Geruchsempfindung zusammen, die dann in die verschiedensten Grade partieller oder totaler Anosmie übergehen können[2]. Eine charakteristische Erscheinung, die uns ebenfalls in analoger Weise bei den übrigen chemischen Sinnen wieder begegnen wird, besteht ferner darin, daß bei der Mischung von Geruchseindrücken Empfindungen

[1] Eine exaktere Ermittelung der Unterschiedsschwellen begegnet freilich aus nahe liegenden Gründen bei den Gerüchen kaum zu überwindenden Schwierigkeiten. Wenn daher Gamble (Amer. journ. of Psychol. vol. 10, 1898, p. 82 ff.) in seinen hierauf gerichteten Versuchen die Werte der relativen Unterschiedsschwelle bei den verschiedensten Gerüchen wenig abweichend und, dem Weberschen Gesetze gemäß, annähernd konstant fand, so ist dieses provisorische Ergebnis in Anbetracht der von Gamble selbst hervorgehobenen zahlreichen Fehlerquellen wohl nur als ein Hinweis darauf zu betrachten, daß hier die Differenzen der Unterschiedsschwellen sehr viel geringer als die der absoluten Reizschwellen sein müssen.

[2] Passy, Comptes rend. de la soc. de biol. 1892, p. 239. Zwaardemaker, Physiologie des Geruchs, S. 125, 188 ff. Archiv f. Anat. u. Physiol. Phys. Abt. 1908, S. 51 ff.

entstehen, die zwar in der Regel ihre Komponenten noch erkennen lassen, dabei aber doch keineswegs als bloße Addition derselben erscheinen. Vielmehr sind hierbei drei Fälle möglich: 1) Ist die eine Komponente von weit überwiegender Stärke, so löscht sie fast immer die übrigen ganz aus. 2) Sind die Komponenten von annähernd gleicher Stärke, so entsteht ein Mischgeruch, der beiden ähnlich ist, so aber, daß jede Komponente geschwächt und dadurch die resultierende Empfindung modifiziert erscheint. 3) In einzelnen Fällen endlich kompensieren sich bestimmte Geruchsreize vollständig, so daß ihre Mischung geruchlos ist[1]. Die näheren Bedingungen eines solchen Komplementarismus der Geruchsreize sind aber noch völlig unbekannt. Zumeist hat man diese verschiedenen Mischungseffekte wieder im Sinne einer spezifischen, auf einzelne unveränderliche Geruchsqualitäten zurückführenden Energie der Riechzellen zu beziehen gesucht. Vergleicht man aber die Verhältnisse hier mit den ihnen wohl nächstverwandten des Gesichtssinns, so ist nicht zu verkennen, daß sich vielmehr die entgegengesetzte Folgerung ergibt. In beiden Fällen läßt sich offenbar sowohl die Mischung wie die Verdrängung der Empfindungen mindestens ebenso leicht unter der Voraussetzung von Prozessen erklären, die in den gleichen Elementen stattfinden, wie aus der Funktion räumlich getrennter. Vollends aber die Kompensation zweier Empfindungen ist aber kaum anders als aus einer direkten, in einem und demselben chemischen Substrat stattfindenden Wechselwirkung der Prozesse zu begreifen.

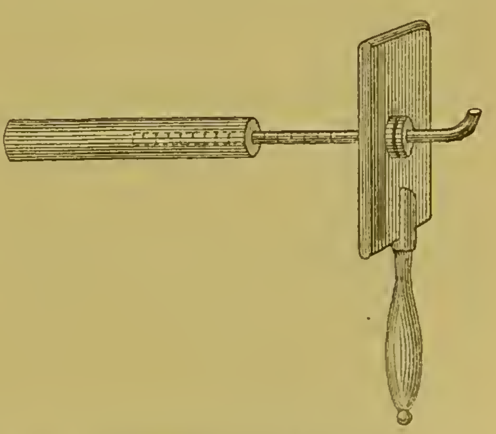


Fig. 166. Olfaktometer nach ZWAARDEMAKER.

Die Untersuchung der Geruchsempfindungen ist teils durch die Unzugänglichkeit der Riechflächen, teils durch die Unmöglichkeit einer exakten Bestimmung der Reizstärken besonders erschwert. Dem letzteren Übelstande hat ZWAARDEMAKER durch das von ihm konstruierte Olfaktometer einigermaßen abzuhelfen gesucht (Fig. 166). Dasselbe besteht aus einem porösen Zylinder, in dessen eine Öffnung eine Glasröhre verschiebbar eingepaßt ist, deren gebogenes Ende genau der Weite der Nasenöffnung entspricht. Der Zylinder, der vor dem Versuch durch längere Behandlung mit Wasser vollständig geruchlos gemacht sein muß, wird in die riechende Flüssigkeit getaucht und, nachdem seine Poren ganz mit derselben imprägniert sind, abgetrocknet und ausgeblasen. Dann wird die Riechröhre bis zu einer be-

[1] ZWAARDEMAKER, a. a. O. S. 165.

stimmten, an einer Skala abzulesenden Tiefe in ihn eingeführt. Ein kleiner hölzerner Schirm, der mit Handgriff versehen ist, dient dazu, den Riechstoff von dem andern Nasenloch abzuhalten. Für Versuche mit binasalem Riechen dient ein ähnlicher Apparat mit doppeltem Riechmesser. Um nun die Stärke des Geruchs zu variieren, wird die Riechröhre verschieden tief in den Zylinder eingeführt. Je tiefer sie in ihn hineinreicht, um so kleiner ist natürlich die Menge des in sie gelangenden Riechstoffs. Diejenige Länge der im Zylinder von der eingeatmeten Luft durchlaufenen Strecke, die gerade hinreicht, um eine Geruchsempfindung zu erzeugen, nennt ZWAARDEMAKER eine »Olfaktie«. Da nun die Menge der von dem Zylinder abgegebenen Dämpfe annähernd der durchlaufenen Strecke proportional sein wird, so kann man, wenn jene erste Strecke als Einheit genommen wird, den ganzen Zylinder in Olfaktien einteilen und auf diese Weise teils die Reizschwellen verschiedener riechender Substanzen, teils die verschiedener Individuen in bezug auf eine und dieselbe riechende Substanz vergleichen. Für den letzteren Zweck konstruierte ZWAARDEMAKER auch ein Olfaktometer mit einem festen Kautschukzylinder, wo dann die individuellen Unterschiede der Reizschwelle direkt in Olfaktien einer bestimmten Normaleinheit gemessen werden konnten[1].

Dieses Olfaktometer eignet sich nun auch sehr gut, um verschiedene Gerüche gleichzeitig teils auf eine Riechfläche, teils, mit dem Doppelriechmesser, auf die Riechflächen beider Nasenkanäle einwirken zu lassen. ZWAARDEMAKER fand auf diese Weise, daß Kautschuk und Wachs, Paraffin oder Tolubalsam, ferner Jodoform und Perubalsam, Rizinusöl oder Vanille sich vollständig aufheben können, ohne daß in diesen Fällen eine chemische Verbindung zu einer geruchlosen Substanz wenigstens außerhalb der Riechzellen anzunehmen ist. Dies wird auch dadurch erwiesen, daß die gleiche Kompensation stattfindet, wenn man die beiden Gerüche getrennt den beiden Nasenöffnungen zuleitet. Letzteres zeigt zugleich, daß die Erscheinung insofern von dem später zu erörternden Komplementarismus der Farben abweicht, als sie offenbar nicht bloß in den peripheren Riechzellen, sondern auch noch in den zentraleren Zellen, wahrscheinlich der Glomeruli, stattfinden kann[2]. Übrigens bieten sich bei der Entstehung von Mischgerüchen, wie oben bemerkt, schon Übergangsstufen zu einer solchen Kompensation dar, indem dabei stets, wie mir scheint, eine teilweise Kompensation zu beobachten ist, abgesehen von dem Grenzfall, wo der eine Geruch so stark ist, daß er den oder die andern völlig verdrängt.

Da eine direkte Erforschung der chemischen Vorgänge in den Riechzellen bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse aussichtslos ist, so scheint das einzige Hilfsmittel, um wenigstens indirekt über den Chemismus der Geruchsreizung Aufschluß zu gewinnen, in der Vergleichung der subjektiven Beziehungen der Empfindungen mit den Verhältnissen der chemischen Zusammensetzung der Riechstoffe zu bestehen. Auch in dieser Beziehung bieten jedoch bis jetzt die einzigen Anhaltspunkte die beiden sich durchgehends in der Erfahrung bestätigenden Sätze, daß 1) Geruchsstoffe, die in ihrer che-

---

[1] ZWAARDEMAKER, a. a. O. S. 125 ff. Weitere Modifikationen dieses mehr für pathologisch-diagnostische als für psychophysische Zwecke in Betracht kommenden Verfahrens hat CH. HENRY angewandt, Comptes rend. de l'acad. des sciences, 9 févr. 1891.

[2] ZWAARDEMAKER, a. a. O. S. 165 ff.

mischen Konstitution homologe Reihen bilden, auch in ihren Geruchsqualitäten verwandt sind, und daß 2) die Riechstärke von den niedrigeren zu den höheren Gliedern der homologen Reihen zunimmt, um dann erst bei den noch höheren Gliedern wieder abzunehmen, ein Satz, mit welchem auch die oben erwähnte Tatsache zusammenhängt, daß die stark riechenden Substanzen mit sehr kleiner Reizschwelle im allgemeinen komplexe und relativ fixe Verbindungen von hohem Molekulargewicht sind. Einen augenfälligen Beleg für jenes Anwachsen und Wiedersinken der Geruchsenergie mit dem Molekulargewicht bildet die Fettsäurereihe, die mit der schwach riechenden Ameisensäure (CH_2O_2) beginnt, in der Butter-, Capronsäure ($C_4H_8O_2$ und $C_6H_{12}O_2$) usw. zu sehr stark riechenden Gliedern aufsteigt, um schließlich in der Palmitin-, Margarin-, Stearinsäure ($C_{16}H_{32}O_2$, $C_{17}H_{34}O_2$, $C_{18}H_{36}O_2$) usw. mit fast geruchlosen Substanzen zu endigen[1]. Diese Tatsachen reichen aber um so weniger aus, darauf irgendwelche einigermaßen begründete Vorstellungen über den Chemismus des Riechens zu gründen, als wir uns auch über die subjektiven Beziehungen der Gerüche einer bestimmten Reihe noch im Dunkeln befinden. Inwieweit z. B. die Verwandtschaft der Empfindungen einer bestimmten Gruppe darauf zurückgeführt werden kann, daß sich dieselben sämtlich aus der verschiedenen Mischung weniger Empfindungskomponenten zusammensetzen, wie manche vermuten[2], oder ob, was ebenso gut möglich ist, jeder Stoff je nach seiner eigenen Konstitution auch wieder etwas abweichende chemische Wirkungen in der Riechzelle auslöst, läßt sich vorläufig absolut nicht entscheiden. Nur ein eingehenderes Studium der Bedingungen und des Verhaltens der Mischgerüche sowie der Geruchskompensationen würde vielleicht hier von psychophysischer Seite aus Aufschlüsse gewähren können. So viel läßt sich jedoch wohl schon jetzt sagen, daß eine Verteilung aller einzelnen Riechqualitäten an spezifische Endgebilde, wie sie zuweilen versucht wurde[3], ebenso wie sie in den anatomischen Verhältnissen der letzteren keine Unterlagen findet (Bd. 1, S. 467 f.), so auch psychophysisch durch keinerlei Tatsachen gestützt wird, wohl aber von vornherein wenig wahrscheinlich ist. Die vergleichend anatomischen Verhältnisse der Riechzellen lassen annehmen, daß die eigentliche Reizwirkung hier nicht etwa auf einer Bewegung der Cilien beruht, die vielmehr, soweit sie überhaupt vorkommen, nur äußere Hilfsmittel für die Zuführung der Riechstoffe zu den Riechzellen sind, sondern daß der eigentliche Geruchsakt mit dem Eindringen des Riechstoffs in die Zelle selbst zusammenfällt. Ist aber dies der Fall, dann ist durchaus nicht einzusehen, warum nicht z. B. eine Substanz von der Zusammensetzung $C_6H_{12}O_2$, wie sie selbst keine bloße Mischung ist aus irgendwelchen andern, etwa $C_4H_8O_2$ und CH_2O_2, sondern eben eine selbständige Atomgruppierung, so nicht auch als eigenartiger Reiz in der Riechzelle wirksam sein sollte. Da die Vorgänge in dieser chemische sind, geradeso wie diejenigen Prozesse in der Außenwelt, aus denen die Geruchsreize selbst hervorgehen, so haben wir gar keinen Grund, jene chemischen Vorgänge in den Zellen, an denen ja unmittelbar die eingedrungenen Stoffe beteiligt sind, sehr viel einfacher und gleichförmiger als diese zu denken. Vollends hat es in diesem Fall nicht die geringste

[1] Haycraft, Brain, vol. 11, p. 166.
[2] W. Nagel, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 15, 1898, S. 82 ff.
[3] Zwaardemaker, a. a. O. S. 271.

Wahrscheinlichkeit, daß jede Zelle nur so zu sagen auf eine einzige chemische Reaktion abgestimmt wäre. So leicht das auf akustischem Gebiet denkbar ist, wenn, wie in der Schnecke, die erforderlichen mechanischen Einrichtungen zu Hilfe kommen, so schwer denkbar ist es im Gebiet der chemischen Reaktionen, wo insbesondere die Erscheinungen der Kompensation zweier Geruchskomponenten sich mit einer solchen Hypothese kaum in Einklang bringen lassen.

b. Geschmacksempfindungen.

Wenn wir Geruchs- und Geschmackssinn als die zwei nach verschiedenen Richtungen entwickelten Formen eines ursprünglich einheitlichen chemischen Sinnes betrachten können, so ist dies, wie schon früher (Bd. 1, S. 433) bemerkt wurde, keinesfalls so zu verstehen, als wenn sich der eine dieser Sinne aus dem andern, oder als wenn sie sich beide aus einem ursprünglicheren, zwischen ihnen stehenden chemischen Sinne entwickelt hätten. Mindestens würde letzteres für die Wirbeltiere unzutreffend sein, bei denen die Geschmacksorgane, völlig unabhängig von den unter direkter Beteiligung der Vorderhirngebiete entstandenen Riechnervenendigungen, unmittelbar aus einer Differenzierung des Hautsinnesorgans, hervorgehen; daher denn auch Geschmacks- und Tastfunktionen fortan viel enger aneinander gebunden bleiben, wie sich dies sowohl an dem Verlauf und der Endigung der Sinnesnerven der Mundhöhle, wie an den vielfach vorkommenden Mischungen beider Empfindungen verrät. Hierdurch kann es oft schwer werden, aus einer solchen Mischung den dem reinen Geschmackssinn zukommenden Anteil zu isolieren. Zugleich müssen aber diese Verhältnisse von vornherein davor warnen, Geruch und Geschmack in allzu enge Beziehungen zueinander zu bringen. Gemeinsam ist ihnen schließlich doch nur, daß es beidemal chemische Reize sind, welche die Empfindungen auslösen. Dabei weichen aber nicht bloß diese Reize selbst, sondern offenbar auch die näheren physiologischen Bedingungen der Empfindung durchaus voneinander ab. Indem der Geschmackssinn auch in seinem physiologischen Verhalten als eine Differenzierung des Hautsinnesorgans erscheint, die sich speziell den an die Nahrungsaufnahme gebundenen chemischen Tastreizen angepaßt hat, unterscheiden sich demgemäß die Beziehungen zwischen Empfindung und Reiz und die allgemeinen Eigenschaften der Empfindung sehr wesentlich von den Verhältnissen des Geruchsorgans, das für die allgemeineren und aus der Ferne schon einwirkenden chemischen Reize des umgebenden Mediums eingerichtet ist.

Diese besondere Beziehung zu dem Tastorgan und zu den Funktionen der Nahrungsaufnahme kommen nun, abgesehen von der Lage der

Schmeckbecher an den Eingängen des Nahrungskanals, vornehmlich in zwei Eigenschaften zum Ausdruck: erstens in der gegenüber der Fülle der Riechqualitäten sehr beschränkten Anzahl spezifisch verschiedener Empfindungen, und zweitens in der eigentümlichen lokalen Differenzierung, die besonders an der Oberfläche des Hauptgeschmacksorgans, der Zunge, hinsichtlich der Feinheit der Empfindung für die verschiedenen Geschmacksqualitäten eingetreten ist. In ersterer Hinsicht findet dann freilich der Geschmack seine Ergänzung in dem Geruch, dessen räumliche Nähe eben mit dieser Hilfsfunktion zusammenhängt, durch welche sich die Geschmackseindrücke, ebenso wie nach der einen Seite mit Tast-, so nach der andern mit Geruchsempfindungen mischen, um dann erst in dieser doppelten Komplikation zu psychischer Wirkung zu gelangen. In der zweiten Beziehung aber hängt die abweichende lokale Reizempfindlichkeit des Geschmacksorgans vor allem mit den die Auswahl der Nahrung vermittelnden Bewegungen der Mund- und Rachenorgane zusammen, wie dies besonders die an die verschiedenen Geschmacksreize gebundenen Reflexe verraten.

Als einfache Geschmacksqualitäten lassen sich mit Sicherheit nur sauer, süß, bitter und salzig unterscheiden. Zu ihnen kommen dann noch alkalisch und metallisch, von denen aber bezweifelt wird, ob sie spezifische Geschmacksempfindungen, oder ob sie Verbindungen der vorigen mit Tastempfindungen seien[1]. Der alkalische Geschmack erscheint gleichzeitig dem süßen und dem salzigen verwandt, und er ist überdies wegen der lösenden Wirkung des Alkali auf das Zungenepithel mit der Tastempfindung der Glätte verbunden, es ist also möglich, daß er lediglich aus einer Mischung dieser Empfindungen besteht; doch ist nicht ausgeschlossen, daß dazu noch eine besondere, dem Alkali als solchem eigene Geschmackswirkung hinzukommt. Noch weniger gelingt es, das Metallische mit Sicherheit als eine Mischung zu erweisen. Der einzig mögliche Beweis hierfür, welcher darin liegen würde, daß man es aus einer Mischung anderer Reizeinwirkungen zusammensetzte, ist bis jetzt noch nicht geglückt. Eine fernere Frage ist es, ob die oben genannten vier Hauptqualitäten selbst uniforme Empfindungen sind, oder ob nicht

[1] M. von Vintschgau (Pflügers Archiv, Bd. 20, S. 225 ff., Hermanns Handbuch, Bd. 3, II, S. 208) und Oehrwall (Scandin. Archiv für Physiologie, Bd. 2, S. 1 ff.) erkennen nur sauer, süß, bitter und salzig als besondere Qualitäten an. Ein einigermaßen sicherer Beweis für diese Beschränkung ist aber nicht erbracht. Wenn vollends W. Sternberg (Archiv für Physiologie, 1899, S. 367) die reinen Geschmacksqualitäten auf süß und bitter reduzieren möchte, so findet diese großenteils auf chemische Spekulationen gegründete Hypothese in den Tatsachen keine Stütze; und der Umstand, auf den schon frühere Beobachter (Valentin, von Vintschgau) hinwiesen, daß saure und salzige Eindrücke immer zugleich Tastempfindungen erregen, liefert jedenfalls keinen Beweis gegen die Existenz einer daneben bestehenden Geschmacksempfindung.

jede derselben noch mannigfache qualitative Nuancen umfaßt. Sicher ist in dieser Beziehung, daß man bei örtlich beschränkter Reizung einer Stelle der Geschmacksfläche nicht imstande ist, verschiedene Säuren, süße Stoffe, Bitterstoffe u. dergl. zu unterscheiden, sofern nicht charakteristische Mischungen mit andern Geschmäcken oder mit Geruchsempfindungen hinzukommen[1]. Durch die Verbindung mit charakteristischen Tastempfindungen sind vorzugsweise der saure, alkalische, salzige und bittere Geschmack ausgezeichnet. Die Säuren bewirken die Empfindung des Adstringierenden, welche, durch die Reizung der Schleimhaut, der submukösen Muskelschichte und der kleinen Gefäßmuskeln veranlaßt, wahrscheinlich zum Teil Muskelempfindung ist. Die Alkalien erzeugen infolge der schnellen Auflösung der oberflächlichen Epithelschichte eine eigentümliche Empfindung des Weichen, die übrigens aus dem gleichen Grunde auch bei konzentrierten organischen Säuren neben der adstringierenden Empfindung vorkommen kann. Im Gegensatze zu dieser mehr direkten Wirkung auf die betroffenen Gewebe scheinen Salze und Bitterstoffe, wenn sie in konzentrierterer Form zur Anwendung kommen, hauptsächlich reflektorische Bewegungen der Schlingmuskeln und begleitende Muskelempfindungen hervorzurufen. So ist die Empfindung des Ekels eine Gemeinempfindung, die zwar auch auf andere Weise entstehen kann, vorzugsweise aber an intensiv bittere und salzige Geschmackseindrücke gebunden ist. So weit er nicht in diesen Geschmacksempfindungen selbst besteht, ist der Ekel wahrscheinlich eine Muskelempfindung, deren Ausbreitung und Verlauf durch die antiperistaltischen Bewegungen der Schlingmuskeln sowie des Ösophagus und Magens bestimmt wird[2]. Wie bei allen Gemeinempfindungen, so können aber auch hier reflektorische Übertragungen auf andere Teile und infolgedessen Mitempfindungen verschiedenen Grades stattfinden: hierher gehören die Haut- und Muskelempfindungen, welche durch die Kontraktion der Blutgefäße des Antlitzes und durch die Erregung der Schweißsekretion hervorgerufen werden, sowie die Empfindungen allgemeiner Muskelschwäche, welche die bei hohen Graden des Ekels entstehende reflektorische Hemmung der Muskelspannungen begleiten. Als eine bei allen sehr starken Geschmacksreizen vorkommende Begleitung von seiten des Tastsinns ist endlich eine stechende Empfindung zu erwähnen, die sich je nach der Beschaffenheit des Reizes zu einer mehr oder weniger starken Schmerzempfindung steigern kann. Wir haben in dieser Empfindung wahrscheinlich ein Reizsymptom zu erblicken, das von der ätzenden Einwirkung auf die sensiblen Nerven herrührt.

---

[1] Corin, Bull. de l'Acad. de Belg. (3) t. 14, 1888, p. 616. (Versuche mit Säuren.)
[2] A. Stich, Annalen des Charité-Krankenhauses in Berlin, Bd. 8, 1858, S. 22 ff.

Eine äußere Erregung von Geschmacksempfindungen auf anderem Wege als durch chemische Reizung der Endorgane ist bis jetzt nicht nachgewiesen. Die Behauptung, mechanischer Druck auf die Zunge bringe saure oder bittere Geschmacksempfindungen hervor[1], beruht vielleicht auf einer subjektiven Täuschung, die durch die Assoziation mit bestimmten Tastempfindungen entstanden ist. Erzeugt man z. B. durch Druck auf die Zungenwurzel Würgbewegungen und Ekel, so kann sich damit die Empfindung des Bittern, als des vorzugsweise ekelerregenden Geschmacks, assoziieren. Der elektrische Strom erzeugt Geschmacksempfindungen, die am negativen Pol als alkalisch, am positiven meist als metallisch oder als sauer angegeben werden; bei der Öffnung des Stromes kehren sich diese Erscheinungen um: am negativen Pol tritt jetzt der saure, am positiven der alkalische Geschmack ein. Da aber diese Geschmäcke durchaus den Zersetzungsprodukten entsprechen, die der Strom in einer salzhaltigen Flüssigkeit ausscheidet, so ist es wahrscheinlich nicht die elektrische Reizung als solche, die die Empfindungen erzeugt, sondern diese werden direkt durch die chemische Reizwirkung der elektrolytischen Zersetzungsprodukte hervorgerufen[2]. Der Umstand, daß die Empfindungen auch dann auftreten können, wenn auf der Oberfläche der Zunge die Zersetzungsprodukte nicht nachzuweisen sind, ist hier offenbar nicht maßgebend, da zunächst die Ausscheidung der Elektrolyten im Innern der Geschmacksorgane die chemische Reizung bewirken wird. Durch die isolierte Reizung einzelner Papillen mit Induktionsströmen läßt sich dagegen keine Geschmacksempfindung hervorbringen[3]. Demnach sprechen alle Beobachtungen dafür, daß in diesem Fall die eigentümliche Qualität der Empfindung nur in den Endorganen und unter der Einwirkung der chemischen Reize, denen diese angepaßt sind, zustande kommt.

Diese Anpassung der Endgebilde an die Geschmacksreize ist nun an den verschiedenen Teilen der Schmeckfläche eine qualitativ und quantitativ abweichende. Auch ist die Ausbreitung der Schmeckfläche selbst eine ziemlich begrenzte, wenngleich beträchtlich ausgedehnter als die der Riechfläche (siehe oben S. 53). Schmeckfähig ist nämlich beim erwachsenen Menschen die Zunge mit Ausschluß der Mittelregion ihrer Oberfläche und ihrer ganzen unteren Fläche, außerdem der weiche Gaumen, etwas inkonstanter das Gaumensegel mit dem Zäpfchen, und in seltenen Fällen auch ein Teil des harten Gaumens. Relativ ausgedehnter ist die perzeptions-

---

[1] Vgl. VON VINTSCHGAU, HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, II, S. 188.

[2] L. HERMANN (und LASERSTEIN), PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 519. HOFMANN und BUNZEL, ebend. Bd. 66, 1898, S. 215. VON ZEYNEK, Physiol. Zentralblatt, Bd. 13, 1899, S. 617.

[3] OEHRWALL, a. a. O. S. 63.

fähige Fläche beim Kinde, bei dem die ganze Oberfläche der Zunge, auch der mittlere Teil, erregbar ist, so daß sich also erst infolge des Wachstums die Endgebilde auf die peripheren Teile des Organs zurückziehen und die Mitte bloß Tastorgan bleibt[1]. Den empfindlichsten Teil dieser Schmeckfläche bildet die Randzone der Zunge, von der aus die Empfindlichkeit gegen die Mitte hin derart regelmäßig abnimmt, daß sich die ganze Schmeckfläche in eine Anzahl dem Rande paralleler Zonen, »Isochymen« (von χυμός Geschmack), zerlegen läßt, in deren jeder die durchschnittliche Empfindlichkeit annähernd konstant ist (Fig. 167). Dabei stuft sich zugleich die Reizbarkeit für die verschiedenen Geschmacksstoffe innerhalb jeder Zone so ab, daß sie für Süß an der Zungenspitze, für Bitter an der Basis und für Sauer in der Mitte des Seitenrandes ihr Maximum hat, um von da an beim Übergang zu den von diesem Optimum entfernten Orten allmählich zu sinken. Nur die Empfindlichkeit für Salzig ist in allen Teilen einer Isochyme annähernd gleich. Von den übrigen Gebieten der Schmeckfläche hat bloß noch der weiche Gaumen eine erhebliche Bedeutung: er nähert sich in seiner relativen Empfindlichkeit für die verschiedenen Stoffe der Zungenbasis. Drückt man die Größe der Reizbarkeit für jeden Punkt der Schmeckfläche durch Zahlen aus, die der relativen Reizschwelle für diesen Punkt reziprok sind, so kann man sich demnach das Verhalten der einzelnen Regionen dadurch veranschaulichen, daß man jede Geschmacksqualität durch kleine geometrische Figuren, Süß z. B. durch Kreise, Sauer durch Quadrate, Bitter durch Dreiecke, Salzig durch Kreuzchen, ausdrückt und an jeder Stelle die Anzahl der Figuren der relativen Empfindlichkeit für den betreffenden Geschmack proportional macht. Dann ersteht das in Fig. 167 gezeichnete Bild, welches zunächst erkennen läßt, daß die nach der Gesamtdichtigkeit aller Elemente zu messende allgemeine Empfindlichkeit innerhalb jeder »Isochyme« konstant ist, aber beim Übergang vom Rand gegen die Mitte abnimmt und schließlich auf Null sinkt; und daß ferner jede der Qualitäten mit Ausnahme des Salzigen an einem bestimmten Punkt einer jeden Isochyme, der für Süß vorn, für Sauer

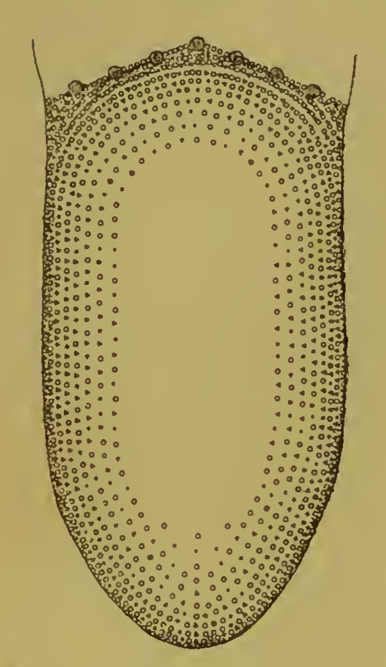


Fig. 167. Verlauf der Isochymen auf der Zungenoberfläche.

[1] Urbantschitsch, Beobachtungen über Anomalien des Geschmacks. 1878. Kiesow, Philos. Stud. Bd. 10, 1894, S. 329 ff. Auch die Wangenschleimhaut soll bei Kindern perzeptionsfähig sein.

in der Mitte und für Bitter hinten liegt, ein Optimum der Empfindlichkeit hat, von wo aus diese nach beiden Seiten sinkt, ohne aber irgendwo innerhalb der Geschmackszonen auf Null herabzugehen. Denkt man sich daher irgendeine der Isochymen so zu einer geraden Linie aufgerollt, daß der Punkt der Zungenspitze in der Mitte liegt, so versinnlichen die drei Kurven in Fig. 168 diese Verhältnisse[1]. Der Sinn dieser Verteilung erhellt aus dem Zusammenhang, in welchem die Geschmacksreize mit den durch sie ausgelösten Reflexbewegungen stehen, wenn man bedenkt, daß das Saure und das Bittere diejenigen Reize sind, die am häufigsten in einer die Endorgane schädigenden Stärke in den Nahrungsmitteln zugeführt werden. Die reflektorisch eintretende Erweiterung der Mundspalte bei sauren, die ebenso erfolgende Erhebung des weichen Gaumens mit

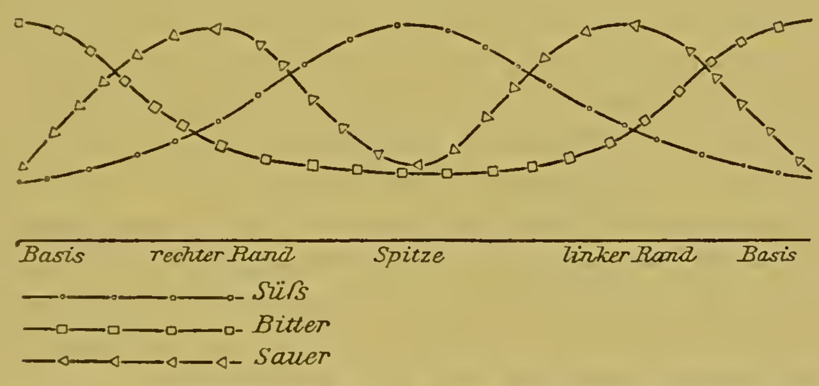


Fig. 168. Verlauf der Empfindlichkeit für Süß, Bitter und Sauer innerhalb einer Isochyme des Zungenrandes.

gleichzeitigem Herabsinken der Zungenwurzel bei bitteren Eindrücken erscheinen dann als Bewegungen, die infolge der Zunahme der Reflexe mit der Stärke der Reize die Einwirkung der letzteren auf die Schmeckbecher in entsprechendem Grade ermäßigen. Dagegen hat das Süße namentlich bei den pflanzenfressenden Tieren und wohl von frühe an auch beim Menschen die Bedeutung eines Lockreizes, welcher die den Geschmacksstoff aufsuchenden Zungenbewegungen reflektorisch auslöst. Hierdurch haben diese Bewegungen zum Teil schon bei den höheren Tieren, namentlich aber beim Menschen zugleich die allgemeinere Bedeutung mimischer Reflexe gewonnen, die als Ausdrucksformen von Gefühlen und Affekten eine, wie wir sehen werden, wichtige psychophysische Funktion erfüllen[2].

An und für sich läßt nun diese verschiedene Reizbarkeit der einzelnen

[1] D. P. Hänig, Philos. Stud. Bd. 17, 1901, S. 576 ff.
[2] Vgl. hierzu die in Abschn. IV folgende Erörterung der Ausdrucksbewegungen.

Regionen der Schmeckfläche eine doppelte Deutung zu. Entweder kann man annehmen, jeder Geschmacksqualität entspreche eine spezifische Art von Geschmackszellen, die letzteren aber seien so verteilt, daß an der Zungenspitze vorwiegend süß, an der Basis bitter empfindende anzutreffen seien usw. Oder man kann sich denken, in der Regel sei jede Schmeck-, ebenso wie mutmaßlich jede Riechzelle, durch die verschiedensten Geschmacksstoffe reizbar, aber in den einzelnen Regionen des Organs differierten die Zelleninhalte infolge jener Anpassung an die Nahrungsaufnahme, die auch die oben erwähnten zweckmäßigen Reflexe hervorgebracht, durchweg derart in ihrer chemischen Konstitution, daß ihr Protoplasma in verschiedenem Grade durch die einzelnen Reizstoffe chemisch affiziert werde. In der Tat hat OEHRWALL geglaubt diese Alternative im Sinne der ersten Annahme entscheiden zu können, indem er einzelne Papillen isoliert zu reizen versuchte, wobei sich zeigte, daß viele zwar auf alle vier Geschmacksstoffe, manche aber nur auf einzelne derselben reagierten, z. B. auf Zucker, nicht auf Weinsäure, oder umgekehrt auf diese, nicht auf Zucker. So reagierten von 125 Papillen 91 auf Weinsäure, davon 12 nur auf diese, 79 auf Zucker, 3 nur auf Zucker, 71 auf Chinin, aber keine bloß auf Chinin. Danach kommt der Fall, daß eine Papille bloß auf einen Geschmacksstoff reagiert, nur ausnahmsweise vor. Noch deutlicher erhellt dies aus den von KIESOW ausgeführten Versuchen, in welchen von 35 sorgfältig untersuchten pilzförmigen Papillen, die den verschiedenen Regionen der Zunge entnommen waren, reagierten:

auf Kochsalz	31 (18),	nur auf Kochsalz	0 (3)
» Zucker	31 (26),	» » Zucker	1 (7)
» Salzsäure	29 (18),	» » Salzsäure	0 (3)
» Chinin	21 (13),	» » Chinin	1 (0).

Die in Klammern beigefügten Zahlen bezeichnen diejenigen Verhältnisse, die sich bei unwissentlichem Verfahren, nach Abrechnung der Fälle mit zweifelhaftem Urteil, ergaben[1]. Da nun nicht nur jede Papille, sondern schon jeder Schmeckbecher eine größere Zahl von Schmeckzellen enthält, so sind diese Resultate natürlich nach keiner Richtung entscheidend. Man kann sie an sich ebensogut auf abweichende Mengenverhältnisse verschiedenartiger Sinneszellen wie auf abgestufte Eigenschaften der einzelnen beziehen. Immerhin sind die Fälle, wo eine Papille nur auf eine Reizqualität reagiert, so selten, und umgekehrt diejenigen, wo sie auf 3 oder 4 reagiert, so häufig, daß man schon nach diesen Resultaten die

[1] KIESOW, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 591 ff. Beachtenswert ist zugleich, daß KIESOW bei diesen Versuchen eine starke Ermüdbarkeit der Papillen durch die Reizung, und daß HÄNIG (a. a. O.) eine in hohem Grad die Erregbarkeit schädigende Wirkung der Gewohnheit des Rauchens konstatierte.

zweite Annahme immerhin für die wahrscheinlichere halten muß, um so mehr als merkliche Unterschiede in den morphologischen Eigenschaften der Schmeckzellen nicht existieren[1], und als analoge Abstufungen einer mehrseitigen qualitativen Erregbarkeit bei den ebenfalls den Substraten chemischer Reizung zuzurechnenden Sinneszellen der Retina außer allem Zweifel stehen (vgl. unten 4).

Entscheidender als die in ihren Ergebnissen immerhin zweideutigen direkten Reizversuche treten nun aber, ähnlich wie schon beim Geruchssinn, die Erscheinungen der Mischung der Geschmacksreize für die mehrseitige Reizbarkeit der Elemente ein. Vor allem ist hier die Tatsache bedeutsam, daß, wie KIESOW fand, süß und salzig komplementäre Reize sind, indem sich dieselben bei geeignetem Stärkeverhältnis zu einer völlig neutralen, in der Regel als »fade« bezeichneten Empfindung aufheben, die von keiner der beiden Komponenten irgend etwas mehr erkennen läßt. Diese Erscheinung läßt sich nach dem, was über das chemische Verhalten der Stoffe bekannt ist, auch hier nicht wohl auf die Entstehung einer geschmacklosen chemischen Verbindung außerhalb der Schmeckzellen, sondern nur auf eine Kompensation innerhalb derselben zurückführen. Ferner beobachtet man bei den übrigen Geschmacksmischungen zwar in keinem andern Fall mehr eine vollständige Kompensation, sondern es bleiben stets die Komponenten in dem Mischgeschmack unterscheidbar; wohl aber zeigt sich, gerade so wie bei der Mischung der Riechstoffe, eine teilweise Kompensation, indem jeder der Einzelgeschmäcke bedeutend geschwächt erscheint. Diese Herabsetzung ist besonders bei süß und sauer, doch auch bei süß und bitter deutlich zu bemerken; sie ist verhältnismäßig am geringsten bei den Mischungen von salzig oder sauer mit bitter. Unter diesen Erscheinungen ist nun namentlich die der vollständigen Kompensation mit der Annahme einer unabhängigen Erregung verschiedener Endgebilde kaum vereinbar. Sie wird dagegen begreiflich, wenn man voraussetzt, daß die durch die verschiedenen Reizstoffe erregten chemischen Vorgänge in den nämlichen Elementen stattfinden, wo sie nun in verschiedenem Grade ineinander eingreifen und sich entweder teilweise oder vollständig aufheben können.

Neben den Kompensations- beobachtet man endlich auch Kontrasterscheinungen. Sie bestehen darin, daß eine Empfindung durch eine andere gleichzeitig oder unmittelbar vorher gegebene verstärkt wird. Am sichersten läßt sich dieser Kontrast in den beiden Formen des simultanen und des sukzessiven dadurch nachweisen, daß man einen etwas unter der Schwelle liegenden Reiz einwirken läßt, wo sich nun der Kontrast

[1] Vgl. Bd. 1, Kap. VIII, S. 467 f.

darin äußert, daß jener untermerkliche Reiz über die Schwelle gehoben wird. Im allgemeinen scheint dabei die Stärke der Kontrasterregung mit dem Grad der Kompensation bei der Mischung der Reizstoffe annähernd gleichen Schritt zu halten. Demnach kontrastieren salzig und süß am meisten, in geringerem Grade salzig und sauer sowie süß und sauer, in welchem letzteren Fall nur der sukzessive, nicht der simultane Kontrast mit Sicherheit nachweisbar ist. Bitter scheint der Kontrastwirkung ganz unzugänglich zu sein[1]. Da diese Verstärkungen durch Kontrast mit großer Schärfe auch bei der Reizung voneinander entfernter Stellen der Schmeckfläche eintreten, bei denen eine periphere Wechselwirkung der Erregungen nicht wohl anzunehmen ist, so werden sie wohl auf jene zentralen Bedingungen zurückgeführt werden müssen, die auch in andern Sinnesgebieten, vor allem beim Gesichtssinn, psychophysische oder psychologische Kontrasterscheinungen herbeiführen[2].

Die Untersuchung der Geschmacksempfindungen hat teils wegen der erforderlichen Isolierung von den Geruchs- und den Tastempfindungen, teils wegen der für die meisten Zwecke wünschenswerten lokalen Begrenzung der Reizung mit nicht geringeren Schwierigkeiten zu kämpfen wie die des Geruchs. Zur Beseitigung der Geruchskomponenten kann man sich künstlich herbeigeführter Anosmie, z. B. durch Füllung der Nase mit Wasser oder durch Spülung derselben mit Kokainlösung, bedienen; zur Isolierung von Tast- und Geschmackskomponenten der Bepinselung mit Kokain, welches vornehmlich die Tastempfindung, weniger den Geschmack beeinträchtigt, oder der Gymnemasäure, die sich umgekehrt verhält[3]. Zur Applikation lokal beschränkter, annähernd punktförmiger Reize verwendet man einen dünnen, mit der Schmeckflüssigkeit getränkten Pinsel. Um vergleichbare Werte der Reizgrößen, namentlich für die Bestimmung der Reizschwelle, zu erhalten, geht man in diesem Fall zweckmäßig von Lösungen aus, deren Konzentration zureicht, um annähernd der Reizhöhe zu entsprechen, und stellt dann Verdünnungen verschiedenen Grades her. Man erhält so wenigstens für die hier hauptsächlich

---

[1] KIESOW, Philos. Stud. Bd. 10, 1894, S. 532 ff.

[2] Vgl. unten Nr. 4, f u. k, über Licht- und Farbenkontraste. Einer näheren Untersuchung bedürfen hier, wie auch beim Geruchssinn, noch die Nachwirkungen der Empfindung. Sicher ist nur, daß alle Empfindungen noch längere Zeit nach der Entfernung des äußeren Reizes andauern, was sich natürlich leicht daraus erklären läßt, daß der einmal in die Schmeckzellen eingedrungene Reizstoff nur allmählich in ihnen zersetzt wird. Am längsten ist diese Nachwirkung bekanntlich beim Bittern. Daß nach dem Aufhören der direkten Reizwirkung andersartige, kontrastierende Nachempfindungen zurückbleiben, ist zwar mehrfach behauptet worden (vgl. VON VINTSCHGAU, HERMANNs Handbuch der Physiologie, Bd. 3, II, S. 221), doch gründen sich solche Angaben nur auf ungefähre Beobachtungen, die einer exakten Nachprüfung noch bedürfen. Vielleicht ist übrigens auf eine komplementäre Nachwirkung der Geschmackserregung die Erscheinung zurückzuführen, daß nach der Einwirkung von Säuren oder von gewissen Salzen, wie Kaliumchlorat, vorher geschmackloses destilliertes Wasser deutlich süß schmeckt (W. NAGEL, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 10, S. 235).

[3] Näheres über die Wirkung beider Stoffe vgl. bei KIESOW, Philos. Stud. Bd. 9, 1894, S. 510 ff.

interessierenden Reizschwellen der einzelnen Teile der Geschmacksfläche vergleichbare Werte. Dagegen ist eine Vergleichung der Reizschwellen der verschiedenen Geschmacksstoffe miteinander in Anbetracht unserer Unkenntnis der chemischen Wirkungsweise dieser Reize überhaupt von geringem Werte, und die Versuche zur Bestimmung von Unterschiedsschwellen begegnen hier, ebenso wie bei den Geruchsempfindungen, im Hinblick auf die Verhältnisse der Reizeinwirkung so großen Schwierigkeiten, daß sich keine sichern Ergebnisse gewinnen lassen[1]. Nur eine tiefere Einsicht in die Molekularwirkungen der Schmeckstoffe würde vollends die einer Vergleichung der verschiedenen Geschmacksreize entgegenstehenden Hindernisse beseitigen können. Hier sind aber selbst die Versuche, Beziehungen zwischen bestimmten Veränderungen der Molekularstruktur und parallel gehenden Änderungen der Empfindung aufzufinden, die, wie wir oben sahen, bei dem Geruchssinn einige interessante Resultate geliefert haben, im ganzen von geringem Erfolg gewesen[2]. Handelt es sich jedoch bloß darum, vergleichbare Werte der Reizschwelle für die verschiedenen Teile der Schmeckfläche zu gewinnen, so eignen sich dazu die von Kiesow und Hänig benutzten Normallösungen von 10 °/₀ Sacch. alb., 10 °/₀ NaCl, 0,2 °/₀ HCl und 0,1 °/₀ Chin. sulf., die der Reizhöhe hinreichend nahe liegen, ohne doch durch die bei konzentrierteren Lösungen eintretende Beteiligung der Tastnerven störend zu werden. Nimmt man diese annähernd der Reizhöhe entsprechenden Konzentrationen als Einheiten, so lassen sich dann die Reizschwellen in Bruchteilen dieser Einheiten ausdrücken. So fand Hänig folgende Werte, die übrigens aus dem angegebenen Grunde nur innerhalb jeder Vertikalreihe vollkommen vergleichbar sind:

	Süß	Salzig	Sauer	Bitter
Zungenspitze . .	0,40	0,34	0,055	0,0004
Mitte des Randes .	0,70	0,38	0,035	0,0003
Zungenbasis . . .	1,60	0,40	0,050	0,00006
Weicher Gaumen .	0,75	0,37	0,041	0,00022

Dabei ist nicht zu vergessen, daß sich diese Zahlen nur auf lokal sehr beschränkte, annähernd punktuelle Reize beziehen, wie solche zur Feststellung der in Fig. 167 dargestellten Isochymen notwendig sind. Ausgebreitetere Reizeinwirkungen setzen, ähnlich wie beim Tast- und Gesichtssinn, die Schwelle erheblich herab. Doch fehlt es noch an genaueren Bestimmungen, in welchem Maße dies geschieht, ebenso wie auch darüber, ob, was nicht unwahrscheinlich ist, die Ununterscheidbarkeit verschiedener Süß-, Sauer- usw. Geschmäcke bloß bei der verhältnismäßig unvollkommenen punktuellen Empfindung besteht, ob nicht also, wenigstens innerhalb eines beschränkten Umfangs, jede jener Geschmacksbezeichnungen noch eine Variation der Qualität

---

[1] Übrigens fand W. Camerer (Pflügers Archiv, Bd. 2, 1869, S. 322. Zeitschr. für Biologie, Bd. 21, S. 570) annähernd das Webersche Gesetz bestätigt, während sich in Fr. Keplers Versuchen (Pflügers Archiv, Bd. 2, S. 449) größere Abweichungen ergaben.

[2] W. Sternberg, Archiv für Physiologie, 1898, S. 451. Höber und Kiesow, Zeitschr. für physikal. Chemie, Bd. 27, 1898, S. 601. Sternberg fand, daß die süß schmeckenden mehratomigen Alkohole durch Einführung von Phenyl bitter schmeckend wurden. Höber und Kiesow fanden, daß bei den Kalium- und Natriumsalzen nicht das neutrale Molekül, sondern die Konzentration der Anionen für den salzigen, umgekehrt bei den Beryllsalzen die der Kationen für den süßen Geschmack maßgebend war.

zuläßt. An und für sich lehren ja auch die Versuche über Geschmacksmischungen, daß, abgesehen von den Empfindungen alkalisch und metallisch, deren vollständige Auflösung in die andern Qualitäten bis jetzt nicht gelungen ist, diese vier zwar die für die Funktion wichtigsten und eben darum wohl die am bestimmtesten durch die lokalen Unterschiede der Endorgane gegeneinander abzugrenzenden, daß sie aber sicherlich nicht die einzigen sind. Namentlich ist die bei der Kompensation von süß und salzig eintretende Empfindung weder mit irgendeiner der andern identisch, noch läßt sie sich etwa als eine bloße Tastempfindung betrachten; sondern sie ist eben eine Geschmacksqualität, für die wir einen bestimmten Namen nicht besitzen. Das ähnliche ist aber auch bei den andern, partiellen Kompensationen nicht ganz ausgeschlossen, da, falls hier aus der teilweisen Aufhebung der Empfindungen eine eigentümliche Resultante entstehen sollte, diese durch die daneben fortbestehenden Komponenten verdeckt werden könnte. Demnach ergibt, wenn wir jene vier Hauptqualitäten nach der oben gewählten Reihenfolge mit *Zu*, *Sa*, *Ac*, *Bi* bezeichnen, die Mischung *Zu* + *Sa* keine bloße Verbindung *Zu Sa*, sondern eine Gesamtempfindung *Zu Sa m*, die bei geeignetem Verhältnis der Komponenten, indem die Elemente *Zu* und *Sa* mit der Annäherung an diese Grenze schwächer werden, schließlich in *m* übergeht, wogegen die andern Verbindungen immer binär oder, wenn bei ihnen eine kompensatorische Resultante existiert, vielleicht auch ternär zusammengesetzt bleiben. Denken wir uns

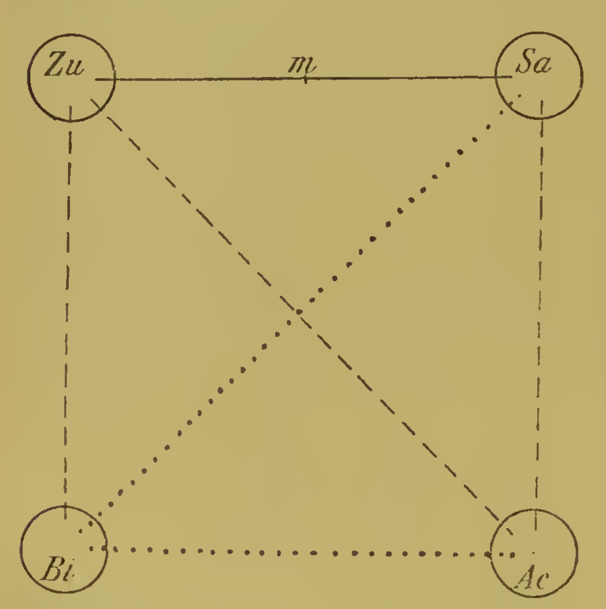


Fig. 169. Symbolische Darstellung der Grundempfindungen Süß (*Zu*), Salzig (*Sa*), Sauer (*Ac*) und Bitter (*Bi*).

demnach die vier Qualitäten *Zu*, *Sa*, *Ac*, *Bi* an den Ecken eines Vierecks als kleine Kreise gelagert, so können wir uns weiterhin diejenige Verbindung, bei der eine vollständige Aufhebung der Komponenten möglich ist, durch eine ausgezogene, solche Verbindungen, die nur partielle Kompensationen zulassen, durch unterbrochene, und endlich diejenigen, bei denen überhaupt nur Mischung und eventuell Verdrängung der einen Empfindung durch die andere stattfindet, durch punktierte Verbindungslinien versinnlichen. Auf diese Weise läßt die Fig. 169 leicht die bei dem System der Geschmacksempfindungen obwaltenden Verhältnisse überblicken. Nach den Analogien, die uns in bezug auf Mischungen und Kompensationen der Empfindung beim Geruchssinn begegnet sind, würden sich aber wahrscheinlich die Verhältnisse der Geruchsempfindungen in ähnlicher Weise darstellen lassen. Nur würden hier voraussichtlich die einzelnen Continua, wie *Zu*, *Sa*, *Ac* usw., bedeutend größer sein, d. h. viel mannigfaltigere, wohl unterscheidbare Einzelqualitäten umfassen, und es würde außerdem eine größere Zahl solcher Qualitätenkreise vorhanden

sein, zwischen denen die Verbindungen vollständiger, unvollständiger Kompensation und bloßer Mischung stattfinden können. Demnach darf wohl die Fig. 169 zugleich als ein typisches Bild für die Eigenschaften dieser chemischen Sinne überhaupt gelten, wobei aber das System der Geschmacksempfindungen infolge der Reduktion seiner Bedeutung auf die für die Aufnahme der Nahrung wichtigen Empfindungsfunktionen in jeder Beziehung, sowohl mit Rücksicht auf die Zahl der Qualitäten wie auf die qualitativen Nuancen der einzelnen, die einfachsten Verhältnisse bietet. Auf der andern Seite führt dagegen hier jene lokale Differenzierung der Empfindungen, die mit dem dem Organ beigeordneten Bewegungsmechanismus zusammenhängt, und die in der Unterscheidung und Auswahl der Nahrungsbestandteile ihre teleologische Bedeutung hat, eigentümliche Erscheinungen mit sich, die zugleich mit der engeren Verbindung dieses chemischen Sinnes mit dem Tastsinn zusammenhängen.

3. Schallempfindungen.

a. Die Schallerregung, ihr Verlauf und die Formen der Schallempfindung.

Die periodischen Bewegungen der Luft, die sich im Gehörorgan in Reizbewegungen umsetzen, nennen wir im allgemeinen Schall. Wie alle periodischen Bewegungen, so können auch sie in regelmäßigen oder in unregelmäßigen Perioden vor sich gehen. Bei der regelmäßig periodischen Schallbewegung befindet sich die Luft in Schwingungen, deren während einer gegebenen Zeit immer gleich viele von gleicher Form aufeinander folgen; bei der unregelmäßigen können die einzelnen Schwingungen in Dauer und Form beliebig verschieden sein. Man kann sich nun aber alle, auch die unregelmäßig periodischen Schwingungen der Luft aus regelmäßig periodischen zusammengesetzt denken. Dies läßt sich leicht durch unmittelbare Zusammenfügung einer Anzahl regelmäßig periodischer Wellenzüge zeigen, die unregelmäßig nebeneinander herlaufen. Sind die Exkursionen der oszillierenden Luftteilchen nicht zu groß, was bei den Schallschwingungen im allgemeinen vorausgesetzt werden darf, so erhält man die resultierende Bewegung, die aus der Superposition der Schwingungen hervorgeht, wenn man die sämtlichen einzelnen Wellenzüge addiert. Auf diese Weise ist in Fig. 170 durch Addition der punktierten und der unterbrochenen Kurve die ausgezogene Wellenlinie erhalten worden: die letztere hat eine unregelmäßig periodische Form, während jede der beiden ersten eine regelmäßig periodische Bewegung darstellt. Da der Schall in der Form rasch aufeinander folgender Verdichtungen und Verdünnungen durch die Luft fortschreitet, so ist die so gewonnene Konstruktion natürlich nur ein Bild: man hat sich an Stelle der Wellenberge verdichtete, an Stelle der Wellentäler

verdünnte Schichten der Luft vorzustellen und überdies zu erwägen, daß jede solche Verdichtungs- und Verdünnungswelle nicht in einer Richtung, sondern nach allen möglichen Richtungen, also in Form einer Kugelwelle sich fortpflanzt, bei welcher die einzelnen Verdichtungen und Verdünnungen in konzentrischen Kugelschalen aufeinander folgen. Da nun durch Addition verschiedenartiger regelmäßig periodischer Schallwellenzüge, die sich, wie in Fig. 170, beliebig durchkreuzen, alle möglichen unregelmäßig periodischen Wellenformen zu erhalten sind, so ist klar, daß auch umgekehrt jede beliebige unregelmäßig periodische Welle in eine Anzahl regelmäßig periodischer aufgelöst werden kann. Diese Zerlegung, die scheinbar bloß eine mathematische Fiktion ist, hat in der Natur der periodischen Bewegungen ihre gute Begründung. Jedes Masseteilchen, dessen Gleichgewicht durch eine momentane Erschütterung gestört wird, wird nämlich, so lange keine äußeren störenden Kräfte auf dasselbe einwirken, in regelmäßigen Perioden um seine Gleichgewichtslage schwingen. Wenn nun aber viele solche Erschütterungen in be-

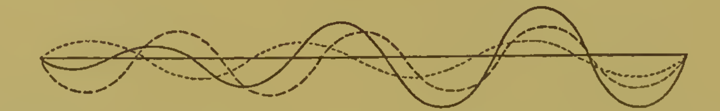


Fig. 170. Zerlegung unregelmäßig periodischer in regelmäßig periodische Schwingungen.

liebiger Richtung aufeinander folgen, so wird die resultierende Bewegung keine regelmäßige mehr sein können; doch wird sie sich immer in eine Anzahl regelmäßig oszillierender Bewegungen auflösen lassen, weil sich eben die ganze Reihe unregelmäßiger Anstöße aus einzelnen zusammensetzt, deren jeder regelmäßig periodische Oszillationen verursachen würde.

Wirken regelmäßig periodische Schallschwingungen auf unser Ohr ein, so erzeugen sie eine Empfindung, die wir als Klang bezeichnen, wogegen wir die durch eine unregelmäßig periodische Luftbewegung hervorgerufene Empfindung Geräusch nennen. Alle regelmäßig periodischen Bewegungen können ferner in solche zerlegt werden, die dem einfachsten Gesetz regelmäßig periodischer Schwingungen, dem Gesetz unendlich kleiner Pendelschwingungen folgen. Nun bewegt sich ein Pendel im allgemeinen fortwährend um dieselbe, im Raum konstant bleibende Gleichgewichtslage. Denken wir uns daher, ein Punkt schwinge nach dem Gesetz des Pendels hin und her, derselbe werde aber außerdem vorwärts bewegt, so daß seine Gleichgewichtslage fortschreitet, so beschreibt der Punkt eine einfache oder pendelartige Schwingungskurve, deren Entstehung man sich in folgender Weise versinnlichen kann. Man

denke sich einen Punkt in der um *c* (Fig. 171) beschriebenen Kreislinie mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt und einen Beobachter bei *h* aufgestellt, der den Kreis nur von der Kante, nicht von der Fläche aus sehen kann. Es wird dann diesem Beobachter der in der Kreislinie umlaufende Punkt so erscheinen, als ob er nur längs des Durchmessers *ab* auf- und abstiege: seine Bewegung wird aber dabei zugleich das Gesetz des Pendels innehalten. Zieht man von *c* aus Radien nach den Punkten *1*, *2* usw., so entsprechen die Winkel t, t' den verflossenen Zeiträumen, und es ist, wenn man mit r den Radius des um *c* beschriebenen Kreises bezeichnet, $m = r \cdot \sin t$, $n = r \cdot \sin(t + t')$ usw., d. h. die Entfernung der Punkte *1*, *2* usw. von der Gleichgewichtslage ist proportional dem Sinus der verflossenen Zeit. Wegen dieser mathematischen Beziehung werden die pendelartigen Schwingungen auch Sinusschwingungen genannt. Um eine fortschreitende pendelartige oder Sinusschwingung darzustellen, teile man nun den einer ganzen Wellen-

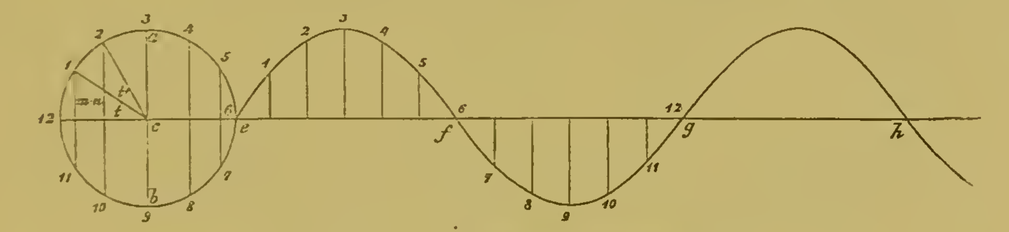


Fig. 171. Sinusschwingungen.

länge entsprechenden Raum *eg* in ebenso viele gleiche Teile wie die Peripherie des Kreises (hier in 12), und mache die Lote auf den Teilpunkten der Linie *eg* der Reihe nach gleich denen, die in dem Kreis von den entsprechenden Teilpunkten *1*, *2*, *3* usw. gefällt sind: die Kurve *efg*, welche diese Lote verbindet, ist dann eine einfache, pendelartige Schwingungskurve.

Jede periodische Schwingungsform läßt sich aus einer bestimmten Anzahl einfacher Schwingungskurven von der hier dargestellten Form zusammensetzen. Aber damit die resultierende Schwingungsform eine regelmäßig periodische sei, müssen die Wellenlängen der einfachen Schwingungen, die addiert werden, in einem einfachen Verhältnisse stehen. Setzen wir die Wellenlänge der langsamsten Schwingungen = 1, so müssen also die Wellenlängen der schnelleren Schwingungen, die mit ihr addiert werden, = $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ usw. sein. Im entgegengesetzten Fall wird die Schwingungsform eine unregelmäßig periodische wie in Fig. 170. Es läßt sich leicht durch Konstruktion zeigen, daß man auf diese Weise die verschiedenartigsten regelmäßig periodischen Schwingungsformen aus

einfach pendelartigen zusammensetzen kann, wenn man die Länge und Höhe der einzelnen Teilschwingungen wechseln läßt, je nachdem also z. B. die geradzahligen oder die ungeradzahligen Schwingungen überwiegen oder auch ganz wegfallen. Die Periode der ganzen Schwingungsform bestimmt sich dabei stets nach derjenigen Teilschwingung, welche die größte Wellenlänge besitzt. So sind in Fig. 172 verschiedene Schwingungsformen von gleicher Wellenlänge abgebildet. Die ausgezogenen Kurven stellen die resultierenden Schwingungen, die unterbrochenen die einfachen, aus denen jene zusammengesetzt sind, dar. Die Form *A* ist eine der häufigsten: sie wird erhalten, wenn sich ein Ton mit einem etwas schwächeren von der doppelten Schwingungszahl verbindet. Auch die Form *B* ist nicht selten: sie entspricht solchen Klängen, bei denen jeder Ton mit einem schwächeren von der dreifachen

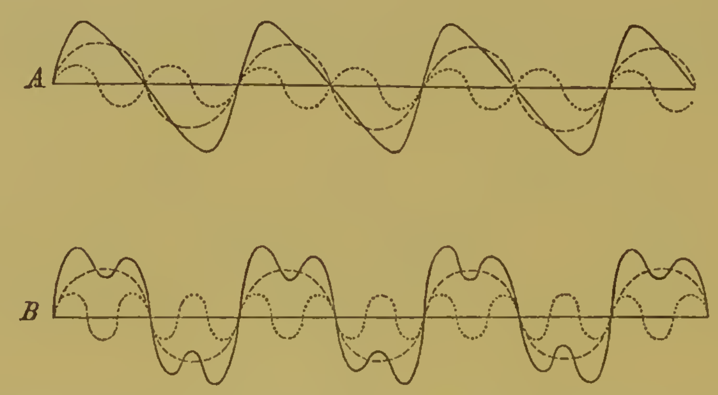


Fig. 172. Zerlegung komplexer regelmäßiger Schwingungsformen in Sinusschwingungen.

Schwingungszahl vereinigt ist. Die Bedingungen zur Entstehung solcher zusammengesetzter Klangbewegung sind aber bei allen Formen der Klangerzeugung in den Eigenschaften der klangerzeugenden Körper, der schwingenden Saiten, Stäbe, Membranen, Lufträume, ohne weiteres gegeben. Wenn wir z. B. eine Saite irgendwie in Schwingungen versetzen, so schwingt nicht nur die ganze, sondern in schwächeren Exkursionen auch die halbe Saite, und dann in der Regel in immer mehr abnehmendem Grade auch der dritte, vierte Teil derselben usw. Ähnlich verhalten sich die Teile einer Membran, der Hohlraum einer Orgelpfeife u. dergl. Diese sämtlichen einfachen Partialschwingungen verbinden sich dann in dem umgebenden Luftraum zu zusammengesetzten Schwingungsformen, ähnlich den in Fig. 172 gezeichneten, nur meist zusammengesetzter als diese, und wirken als solche auf unser Ohr ein. Einfache Sinusschwingungen kommen daher im allgemeinen überhaupt nicht vor. Doch können sich in gewissen Grenzfällen die wirklichen Schwingungen tönender Körper ihnen so sehr nähern, daß die Abweichungen nicht mehr zu bemerken sind.

Der pendelartigen Bewegung der Luftteilchen entspricht nun eine Klangempfindung, die sich ebenfalls durch ihre Einfachheit auszeichnet: wir nennen dieselbe einen einfachen Klang oder einen Ton. In einem gewöhnlichen Einzelklang, z. B. in dem Klang einer Violin- oder Klaviersaite, einer Orgelpfeife usw., der auf einer regelmäßig periodischen, aber zusammengesetzten Luftbewegung beruht, lassen sich dagegen in der Regel mehrere solche einfache Töne deutlich unterscheiden: unter ihnen zeichnet sich der tiefste stets durch größere Stärke aus, nach ihm, dem Grundton, wird daher auch die Tonhöhe des Klanges bestimmt. Der ganze Klang aber besteht, außer aus diesem Grundton, aus einer gewissen Zahl von Obertönen, denen die zwei-, drei-, vierfache usw. Schwingungszahl entspricht. Die verschiedene Stärke und Zahl dieser Obertöne ist es, von der die Klangfärbung der musikalischen und anderer Klänge abhängt. Überdies sind viele Klänge von Geräuschen begleitet, die aber (z. B. das Kratzen der Violinbogen, das Zischen der Orgelpfeifen usw.) in die eigentliche Klangfärbung nicht eingehen. Das Ohr zerlegt somit den zusammengesetzten Klang ganz ebenso in einfache Klänge oder Töne, wie sich der objektive Schwingungsvorgang aus einer Anzahl einfach pendelartiger Schwingungen zusammensetzt. Die stärkste dieser pendelartigen Schwingungen empfindet das Ohr als den Grundton des Klangs, die schwächeren als die Obertöne. Dieselbe Analyse erstreckt sich bis zu einem gewissen Grade auch auf die Geräusche. In den meisten Geräuschen vermögen wir deutlich einzelne Klänge zu unterscheiden. Niemals aber läßt sich ein Geräusch vollständig in einzelne Töne auflösen, sondern neben den etwa unterscheidbaren Tönen von bestimmter Höhe bleibt stets eine eigentümliche, je nach der Beschaffenheit des Geräusches wechselnde Empfindung bestehen. Unsere Schallempfindungen folgen also in dieser Beziehung treu dem Verlauf der äußeren Reizbewegung: die gleichmäßig andauernde Schwingungsbewegung empfinden wir als stetigen Klang, die unregelmäßig wechselnde als unstetiges Geräusch; die regelmäßig periodische Schwingungsbewegung, den Klang, zerlegen wir in pendelartige einfache Schwingungen, in Töne, und bis zu einem gewissen Grade sogar die unregelmäßig periodische Bewegung, das Geräusch, in regelmäßig periodische Schwingungen, Klänge.

Durch die geringe Stärke aller Teiltöne mit Ausnahme des Grundtons unterscheiden sich die Einzelklänge von den Zusammenklängen, die durch gleichzeitige Erzeugung mehrerer Klänge entstehen, und deren einzelne Bestandteile völlig oder nahezu die gleiche Stärke besitzen. Da wir jedoch in der Empfindung den Klang in seine Teiltöne zerlegen können, und da anderseits auch die Zusammenklänge mehr oder minder einheitliche Verbindungen bilden, so besteht keine scharfe Grenze zwischen

dem Einzel- und dem Zusammenklang. Nur der Umstand, daß die Obertöne eines Klangs eine bedeutendere Höhe im Verhältnis zum Grundton besitzen als die meisten Teilklänge eines Akkords, und daß sie von viel geringerer Stärke sind, unterscheidet in der Regel beide hinreichend voneinander. Den Klang empfinden wir noch als eine Qualität, und erst bei großer Aufmerksamkeit und Übung erkennen wir die zusammengesetzte Natur desselben. Diese Klangqualität ist in den mittleren Tonhöhen und Klangstärken am deutlichsten ausgeprägt. Bei den tiefsten Tönen wird der Grundton zu schwach im Verhältnis zu den Obertönen, bei den höchsten überschreiten die letzteren die Grenzen der Wahrnehmbarkeit. Wird ferner ein Klang schwach angegeben, so verschwinden die die Klangfärbung bestimmenden Obertöne teilweise; bei sehr starken Klängen dagegen werden dieselben so stark, daß die für die Klangfärbung charakteristischen Unterschiede meistens undeutlicher sind. Je höhere Obertöne endlich einen Klang begleiten, um so geringer werden die relativen Unterschiede ihrer Schwingungszahlen. Bei Klängen, welche hohe und starke Obertöne enthalten, werden daher ähnliche Erscheinungen wie beim Zusammenklingen nahe beieinander liegender Grundtöne beobachtet: es entstehen scharfe Dissonanzen der Obertöne, die, wie bei der Trompete und andern Blechinstrumenten, eine schmetternde Klangfarbe hervorbringen. Andere Unterschiede des Klangs entstehen je nach dem Überwiegen der gerad- oder ungeradzahligen Obertöne, usw. Auf diese Weise bilden die Klänge, Zusammenklänge und Geräusche eine fast unbegrenzte Mannigfaltigkeit qualitativer Empfindungskomplexe, die jedoch auf eine verhältnismäßig kleine Anzahl einfacher Qualitäten zurückführen: auf die einfachen Tonempfindungen und, sofern bei der Analyse der Geräusche spezifische Empfindungen übrig bleiben sollten, die nicht in Töne aufzulösen sind, auf die einfachen Geräuschempfindungen. Darin daß schon durch das bloße Ohr aus einem Klang, Zusammenklang oder Geräusch einzelne einfache Töne herausgehört werden können, zeigt sich somit das Gehör allen andern Sinnesgebieten überlegen. In der unmittelbaren Empfindung spiegelt sich hier bereits relativ treu die mehr oder minder zusammengesetzte Beschaffenheit der physikalischen Sinnesreize. Man hat diese Eigenschaft die »analytische Fähigkeit« des Gehörs genannt. Sie bedingt es aber zugleich, daß die tatsächliche Grenze zwischen Ton, Klang und Geräusch eine einigermaßen fließende ist, da nicht bloß die objektiven Übergänge durch unmerkliche Zwischenstufen erfolgen, sondern auch die subjektive Fähigkeit, aus einem komplexen Schall einzelne Bestandteile herauszuhören, je nach Anlage und Übung eine sehr verschiedene sein kann.

Ähnlich bevorzugt erscheint das Gehör vor den andern Sinnesgebieten

durch seine relativ geringe Ermüdbarkeit. So läßt sich bei einem einfachen Klang noch nach einer Einwirkung von mehreren Sekunden durch die Vergleichung mit einem kürzer dauernden von gleicher Stärke eine merkliche Abnahme der Empfindungsintensität nicht nachweisen[1]. Dagegen bedarf auch die Schallerregung einer gewissen Zeit, um zu ihrer der einwirkenden Schallstärke entsprechenden Höhe anzusteigen. Dies zeigt sich darin, das der Klang einer und derselben Stimmgabel bei sehr kurzer Dauer an Intensität vermindert erscheint[2]. Bestimmter läßt sich der Verlauf dieses Anstiegs nachweisen, wenn man nach dem oben (S. 11) bei den Druckempfindungen geschilderten Verfahren einen Klang von konstanter Stärke, aber variabler Dauer mit einem solchen von variabler Stärke, aber konstanter Dauer vergleicht. Die nach diesem Prinzip ausgeführten Messungen ergaben bei mäßiger Intensität der Klänge eine Gesamtdauer des Anstiegs von etwa 1,5 Sek., die sich jedoch bei Verstärkung des Schalls zu vermindern schien[3]. Diese Werte liegen den für die Druckempfindungen beobachteten (S. 12) nahe genug, daß sich auch in ihnen die früher (Bd. 1, S. 426) hervorgehobenen nahen Beziehungen zwischen diesen beiden »mechanischen Sinnen« einigermaßen bestätigen.

Die Tatsache der Klangzerlegung durch das Ohr schließt selbstverständlich noch keineswegs die Folgerung in sich, daß nun auch ein Klang und ein Zusammenklang in der Empfindung nichts anderes seien als Additionen einzelner Tonempfindungen. Auf die Frage, inwiefern sich die hierbei aus der Summe der Empfindungen entspringende Resultante von einer solchen bloßen Addition unterscheidet, werden wir aber erst eingehen können, wenn wir die aus dem Zusammenwirken der Töne und Klänge entstehenden physikalischen und physiologischen Effekte näher kennen gelernt haben. Hier sei nur hervorgehoben, daß in einer Beziehung, in welcher man neben den Einzeltönen eines Klangs dem aus ihnen gebildeten Ganzen einen Einfluß auf die Empfindung zuschreiben könnte und in der Tat zugeschrieben hat, ein solcher zweifelhaft oder mindestens an gewisse Bedingungen geknüpft ist. Wenn man nämlich die Partialtöne eines Klangs sukzessiv in wechselnde Phasenverhältnisse zueinander bringt, so z. B. daß man zusammen mit dem Grundton seine Duodezime (1 : 3) erklingen läßt, in einem ersten Fall aber beiden Tönen ein übereinstimmendes Phasenverhältnis gibt, wie in Fig. 172 *B*, in einem zweiten den höheren Ton gegen den tieferen um eine halbe Wellen-

---

[1] Kafka, Psychol. Stud. Bd. 2, 1906, S. 292.

[2] Urbantschitsch, Pflügers Archiv, Bd. 25, 1881, S. 323. Abraham und Brühl, Zeitschr. für Psychol. Bd. 18, S. 203.

[3] Kafka, a. a. O. S. 258 ff. Exner schätzte nach seinen älteren, nach einer abweichenden Methode ausgeführten Versuchen die Zeit des Anstiegs wesentlich kürzer und in höherem Grad abhängig von der Schallstärke, nämlich = 0,69—0,75 Sek. zwischen den Tönen *C* und *c*; er hielt aber selbst dieses Resultat für unsicher (Pflügers Archiv, Bd. 13, 1876, S. 234). Auch die Versuche Kafkas bedürfen übrigens mit Bezug auf die Frage der Abhängigkeit von der Schallstärke, ähnlich wie das für die über die Druckempfindungen (S. 12) gilt, noch der Ergänzung.

länge verschiebt, so daß die punktierte Kurve in *B* mit einem Wellental anfängt, so überzeugt man sich leicht durch die Konstruktion, daß zwar die Periode der zusammengesetzten Schwingungen dieselbe bleibt, daß aber die Addition der Kurven jedesmal eine andere Wellenform ergibt. Nun sah Helmholtz, als er geringe solche Phasenverschiebungen eines Grundtons und einzelner seiner Obertöne durch Veränderung der Dimensionen der Resonanzröhren, vor denen Stimmgabeln in Schwingungen versetzt wurden, künstlich erzeugte, keinerlei Änderungen in der Klangfarbe eintreten[1]. Dagegen beobachtete R. König, als er in einer Sirene Scheiben, an deren Peripherie verschiedene Wellenformen ausgeschnitten waren, anblies, daß sich der Klangcharakter mit der Wellenform veränderte, und er schrieb daher der Gesamtform der Welle und somit auch den durch Phasenverschiebungen eintretenden Änderungen dieser Form neben den Obertönen einen Einfluß auf die Klangfarbe zu[2]. Anderseits fand jedoch wieder L. Hermann, in Übereinstimmung mit dem Ergebnis von Helmholtz, als er am Edisonschen Phonographen einen Klang bei entgegengesetzter Drehrichtung des Zylinders hörte, wobei eine Umkehrung aller Phasen und somit eine völlige Veränderung ihres Verhältnisses eintreten mußte, daß die Klangfarbe ganz und gar unverändert blieb[3]. Die Ausgleichung dieser Widersprüche liegt wohl darin, daß die Obertöne eines Klangs, wenn sie, wie gewöhnlich, von geringer Intensität sind, nur als einfache Töne wirken, daß sie dagegen bei größerer Stärke außerdem resultierende Töne, die Kombinationstöne, erzeugen können, die dann Schwebungen (Tonstöße) miteinander bilden (vgl. unten c). Ist demnach auch anzunehmen, daß die Teiltöne unabhängig von ihrem Phasenverhältnis die Empfindung bestimmen, so verhält sich das jedenfalls anders, sobald solche sekundäre Phänomene auftreten. Da nämlich die Schwebungen, wie wir sehen werden, wesentlich von dem Phasenverhältnis der schwebenden Töne abhängen, so müssen sie auch durch eine Änderung dieses Verhältnisses den Klangcharakter verändern. Es ist aber nicht unwahrscheinlich, daß bei den starken Klängen der Königschen Wellensirene die Bedingungen zu einer solchen Entstehung von Differenz- und vielleicht auch von sogenannten Unterbrechungstönen (siehe unten c) gegeben waren[4]. Demnach werden wir von diesem Einfluß der Wellenform auf die Klangfarbe im folgenden abstrahieren können. Wo er überhaupt stattfindet, führt er offenbar wieder auf die allgemeinen Bedingungen des Zusammenwirkens der einzelnen einfachen Partialtöne zurück.

b. Die Tonempfindungen.

Der einfache Klang oder Ton unterscheidet sich von den gewöhnlichen Einzelklängen, den Zusammenklängen und den Geräuschen dadurch, daß er eine schlechthin einfache, nicht weiter zerlegbare Quali-

---

[1] Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 194 ff.

[2] R. König, Wiedemanns Annalen, Bd. 39, 1891, S. 403. Bd. 57, 1897, S. 339. 555.

[3] Hermann, Pflügers Archiv, Bd. 56, 1895, S. 467. Wiedemanns Annalen, Bd. 58, 1897, S. 391.

[4] Vgl. E. ter Kuile, Einfluß der Phasen auf die Klangfarbe. Pflügers Archiv, Bd. 89, 1902, S. 333 ff. Lindig, Annalen der Physik, Bd. 10, 1903, S. 242 ff.

tät ist. In der Wirklichkeit begegnen wir nun freilich absolut einfachen Tönen niemals, und auch relativ einfachen, d. h. solchen Klängen, in denen die Obertöne gegenüber dem Grundton unmerklich werden, selten. Von den Klängen musikalischer Instrumente nähern sich am meisten die der Labialpfeifen der Orgeln diesem Grenzfall. Näher noch kommt man demselben, wenn man eine Stimmgabel auf einem an der einen Seite offenen Resonanzkasten befestigt, der genau auf den Grundton der Gabel abgestimmt ist (Fig. 175). Streicht man eine solche Stimmgabel an ihren freien Enden mit einem Violinbogen, oder schlägt man mit einem Kautschukhammer an eine ihrer Branchen an, so sind zwar während des Streichens oder Schlagens in der Regel noch Geräusche und höhere Obertöne vernehmbar, beim Ausklingen aber hört man den Grundton als eine reine, einfache Klangempfindung, neben der nur bei großer Stärke der Schwingungen oder bei ungünstiger Form der Stimmgabeln die nächsten Obertöne noch merklich mitklingen. Diese einfache Tonempfindung entspricht in ihrer Qualität, die von der Zahl der Schwingungen in einer gegebenen Zeit abhängt, derjenigen Eigenschaft, die wir die Tonhöhe nennen, während der selbständig veränderlichen Tonstärke die Amplitude der Schwingungen objektiv parallel geht. Mit Hilfe solcher Gabeln lassen sich daher, wenn man ihre Dimensionen variiert, alle möglichen Tonhöhen als einfache Klangqualitäten hervorbringen; und wenn man auch noch die kleineren Veränderungen durch Belastung der Stimmgabelbranchen mit kleinen Gewichten oder durch Ankleben von Wachs vornimmt, so läßt sich auf diese Weise eine kontinuierliche Serie von Tonquellen herstellen, welche die Gesamtheit der unserem Ohr verfügbaren Tonqualitäten einschließt. Hierbei erscheint dann die Veränderlichkeit der Tonqualität als eine vollkommen stetige, die sich innerhalb einer einzigen Dimension bewegt. Von einem gegebenen Punkt aus ist daher diese einfache Tonempfindung immer nur nach zwei entgegengesetzten Richtungen veränderlich, ebenso wie die objektive Schwingungszahl nur nach den zwei Richtungen der Zu- und der Abnahme der Schwingungen verändert werden kann: der Zunahme entspricht in der Empfindung die Erhöhung, der Abnahme die Vertiefung des Tones. Demnach können wir uns das gesamte System der Tonqualitäten durch eine einzige gerade Linie dargestellt denken, und wir können dieses eindimensionale Kontinuum der Tonempfindungen als die Tonlinie bezeichnen. Wollten wir auch noch die Intensitäten der Töne berücksichtigen, so würden diese, da jede Tonhöhe, d. h. jeder Punkt auf der Tonlinie, wieder alle innerhalb unserer Empfindungsgrenzen möglichen Intensitäten durchlaufen kann, in einer auf der Tonlinie senkrechten zweiten Dimension dargestellt werden können, so daß sich jene in eine Tonebene verwandelte.

Nun sind natürlich die Bezeichnungen »tief« und »hoch« für verschiedene Tonqualitäten bildliche Bezeichnungen, die jedenfalls zu einem wesentlichen Teile durch die Gefühle mitbestimmt werden, die sich schon mit den einfachen Tonempfindungen verbinden. Dem entspricht es, daß in andern Sprachen Bilder gebraucht werden, die von den unsern abweichen, aber offenbar die nämliche Gefühlsbetonung enthalten, wie z. B. schwer und spitz im Griechischen und Lateinischen. So dürften denn auch noch andere Benennungen, die man neben tief und hoch für die eigentümlichen Verschiedenheiten dieser Tonqualitäten wählt, wie »dumpf, dunkel, massig« für die tiefen, »dünn, fadenförmig« u. dergl. für die hohen Töne, nichts anderes sein als Bilder, die von andern Sinneseindrücken von verwandtem Gefühlston entlehnt sind. Dabei bleiben aber solche Benennungen immer nur verschiedene Hilfsmittel, um bestimmte Tonqualitäten, die an sich nicht beschrieben, sondern nur unmittelbar erlebt werden können, annähernd kenntlich zu machen. Namentlich sind daher auch nicht solche Namen wie tief, dumpf, massig usw. als verschiedene Qualitäten anzusehen, die in einer und derselben Tonqualität vereinigt sind. Der einzelne Ton bleibt qualitativ unzerlegbar, wenn er auch namentlich je nach der Tonstärke teils an und für sich verschiedene bildliche Bezeichnungen herausfordern, teils aber auch durch die Beimischung von Obertönen in wirkliche Qualitätsunterschiede übergehen kann, die dann aber natürlich nicht mehr einfache Tonqualitäten, also nicht »Tonfarben«, sondern »Klangfarben« sind. Hieraus erklärt es sich denn auch, daß solche Unterschiede hauptsächlich bei den tieferen Tönen vorkommen, sichtlich weil bei diesen mit zunehmender Tonstärke immer mehr Obertöne sich beimischen, während die letzteren bei den hohen Tönen sehr bald die Grenze der hörbaren Töne überschreiten. So pflegt man z. B. tiefe und leise Töne »dumpf«, tiefe und starke »massig« zu nennen u. dergl., ohne daß darunter etwas andres als eben ein Unterschied der unabhängig voneinander veränderlichen Tonstärke und Tonqualität verstanden würde. So kann man denn auch kaum, wie es STUMPF getan hat, den Begriff der »Tonfarbe« als eine spezifische Eigenschaft eines einzelnen einfachen Tones mit dem oben erwähnten der »Klangfarbe« in Parallele bringen[1]. Die Klangfarbe läßt sich wirklich in Elemente, die Obertöne, zerlegen; jene mehrfachen Ausdrücke für die »Tonfarbe« sind aber immer nur verschiedene Bilder für einfache, unzerlegbare Empfindungen, wobei außer der Tonqualität nebenbei noch die Tonstärke und dann vor allem die Gefühlsverwandtschaft mit dem Sinnesgebiet, dem das Bild entnommen wird, entscheidend ist.

Die Musik verwendet nun bekanntlich nicht alle Töne, die uns auf

---

[1] STUMPFS Tonpsychologie, II, S. 534 ff.

der Tonlinie unserer Empfindungen zur Verfügung stehen, sondern, nachdem ein bestimmter Ausgangston gewählt ist, schreitet sie bei den aufeinander folgenden Tönen einer Melodie in bestimmten größeren Intervallen auf und ab. Auf diese Weise geht die Tonlinie bei der musikalischen Verwendung der Töne in die Tonskala über. Sind aber auch hier der jedesmal gewählte Ausgangspunkt auf der Tonlinie und die besondere Form der Intervallbewegung willkürlich, so beruht diese Bewegung in größeren Tonstufen an sich doch keineswegs bloß auf einer willkürlichen Erfindung, sondern sie hängt offenbar mit den natürlichen Eigenschaften unserer Tonempfindung und unserer eigenen Klangerzeugung bei der Anwendung der Stimmtöne in Sprache und Gesang zusammen. Dies ergibt sich daraus, daß nicht bloß die meisten Völker, und daß bis zu einem gewissen Grade sogar viele Singvögel bei ihrem Gesang solche Intervalle anwenden, sondern daß auch die gewöhnliche Sprache manche von ihnen als natürliche Ausdrucksmittel verwertet, z. B. als steigendes Intervall bei der Frage oder bei der Aufforderung, als sinkendes am Schluß der Aussage[1]. Nicht irgendeine gegebene Tonskala, die immer konventionell ist, wohl aber die Tatsache, daß der Mensch, obgleich seine Tonempfindungen eine kontinuierliche Linie bilden, unter dem Einflusse gewisser Gefühlsmotive sich in bestimmten Intervallen auf dieser Linie bewegt, ist demnach eine natürliche Eigenschaft, die zugleich, abgesehen von den allgemeineren psychophysischen Bedingungen, mit der Natur unserer Tonempfindungen zusammenhängen muß. Letzteres ergibt sich weiterhin auch daraus, daß, so weit im übrigen die verschiedenen Intervallbewegungen voneinander abweichen mögen, doch die relativen Werte derselben immer wieder dieselben sind, wobei sie zugleich mit den Verhältnissen der objektiven Schwingungszahlen der Töne in einer überaus einfachen Beziehung stehen. Jenen regelmäßigen Intervallen der Tonbewegung entsprechen nämlich stets einfache Verhältnisse der Schwingungszahlen, die zugleich in allen Teilen der Tonlinie, also in den verschiedensten Höhen der Tonskala, dieselben bleiben. So ist z. B. das Verhältnis der Schwingungszahlen:

für die Oktave	1 : 2,		für die Sexte	3 : 5,
» » Duodezime	1 : 3,		» » große Terz	4 : 5,
» » Quinte	2 : 3,		» » kleine Terz	5 : 6.
» » Quarte	3 : 4,			

Diese Verhältnisse bleiben ungeändert, wie auch die absoluten Schwingungszahlen sich ändern mögen. Auch sind wir imstande meist ohne viele Übung jene relativen Intervalle der Tonhöhe wiederzuerkennen, während

[1] Vgl. Völkerpsychologie[2], Bd. 1, S. 400.

eine nur selten vorkommende individuelle Anlage und längere Einübung erforderlich sind, um die absolute Höhe eines Tons nach seiner musikalischen Bezeichnung zu bestimmen. Darum kann die absolute Stimmung eines musikalischen Instrumentes beträchtlich variieren, ohne daß wir dies wahrnehmen, während wir kleine Abweichungen von der Stimmung nach regelmäßigen Intervallen sogleich empfinden. Nun sieht man aber sofort, daß die Beziehung, die sich hier zwischen den objektiven Verhältnissen der Schwingungszahlen und den subjektiven unserer Auffassung der Intervalle vorfindet, die nämliche ist, die wir auch bei der messenden Vergleichung der Empfindungsintensitäten unter dem Namen des WEBERschen Gesetzes kennen lernten. In der Tat haben sich daher, lange bevor FECHNER dieses Gesetz in der Form einer logarithmischen Funktion darzustellen versuchte, die Akustiker des nämlichen Ausdrucks für die Beziehung der Schwingungszahlen zu den Tonintervallen bedient. Bezeichnet man nämlich mit H die Tonhöhe, mit S die Schwingungszahl des gegebenen Tons, ferner mit b diejenige des tiefsten Tons der Tonreihe, und endlich mit K eine näher zu bestimmende Konstante, so ist nach dem Intervallgesetz

$$H = K \cdot log\ nat \frac{S}{b}.$$

Gemäß dem früher (Bd. 1, S. 620) festgestellten Sinn der Maßformel würde hier b den Schwellenwert des Reizes, d. h. die Schwingungszahl bedeuten, bei der die Tonempfindung beginnt. Man kann aber dafür auch diejenige Schwingungszahl wählen, bei der man die Tonreihe willkürlich beginnen läßt, wodurch dann nur die Konstante K jedesmal mit den Veränderungen des Wertes von b andere Werte annimmt[1].

Diese Analogien haben der Vermutung Raum gegeben, für die Empfindung der Tonhöhen in ihrer Beziehung zu den Schwingungszahlen der Töne sei überhaupt das nämliche Gesetz maßgebend, das die Empfindungsintensitäten in ihrer Beziehung zu den Reizstärken beherrscht, und die Entstehung der Tonintervalle selbst beruhe daher auf einer speziellen und besonders augenfälligen Anwendung dieses Gesetzes. Solange man das WEBERsche Gesetz direkt auf eine naturgesetzliche, sei es physiologische sei es psychophysische, Beziehung der Empfindungen zu den Reizen bezog, lag dies in der Tat nahe genug; denn jene Auffassung führte von selbst zu der Annahme, gleiche musikalische Tonintervalle seien ohne weiteres

[1] Der erste, der die Logarithmen auf das Verhältnis der Töne anwandte, scheint EULER gewesen zu sein, Tentamen novae theoriae musicae. 1739, p. 73. Vgl. auch HERBART, Über die Tonlehre. Werke, Bd. 7, S. 224 ff. Eine Berechnung der Logarithmen aller musikalisch angewandten Schwingungszahlen hat SCHUBRING geliefert. (SCHLÖMILCH, KAHL und CANTOR, Zeitschrift für Mathematik und Physik, 13. Suppl., S. 105.)

gleichen absoluten Unterschieden der Tonqualität äquivalent. In diesem Sinne hatte WEBER selbst bereits die Tonintervalle mit seinen Versuchen über die Schätzung von Gewichtsunterschieden in unmittelbare Verbindung gebracht, und nicht minder betrachtete FECHNER dieselben ursprünglich als einen wichtigen Beleg für die Allgemeingültigkeit des WEBERschen Gesetzes. Aber da das letztere, wie namentlich die in dem MERKELschen Gesetz zum Ausdruck kommenden Verhältnisse erkennen lassen (Bd. 1, S. 626), auf das engste mit der Auffassung der Intensität der Empfindungen zusammenhängt, so ist seine Übertragung auf die Tonqualitäten nicht ohne weiteres erlaubt. Überdies kann in den Verhältnissen der Tonintervalle schon deshalb keine direkte Bestätigung derselben gesehen werden, weil die Feststellung der musikalischen Intervalle zunächst nicht von unserer unmittelbaren Empfindung der Tonqualitäten, sondern, wie sich im nächsten Abschnitt zeigen wird, von den Bedingungen der Konsonanz und Dissonanz der Töne abhängt. Unter diesen Umständen bedarf daher die Frage der Beziehungen zwischen Empfindungsänderung und Änderung der Schwingungszahlen einer direkten Beantwortung; erst auf Grund einer solchen wird sich dann möglicherweise auch die Bedeutung jenes Intervallgesetzes selbst näher bestimmen lassen.

Wird nun diese Untersuchung mit Hilfe der verschiedenen früher erörterten psychischen Maßmethoden (Bd. 1, S. 588 ff.) ausgeführt, so zeigt zunächst die mittels der Methode der Minimaländerungen gefundene Unterschiedsschwelle für zwei dem Einklang nahestehende Töne, daß der Gehörssinn für die qualitative Unterscheidung der ihm homogenen Reize, im Gegensatze zu seiner unvollkommenen Auffassung von Intensitätsunterschieden (ebend. S. 648), eine außerordentlich hohe Empfindlichkeit besitzt. In den mittleren Höhen der musikalischen Skala können selbst von einem ungeübten, aber akustisch normal entwickelten Gehör sukzessiv angegebene Töne unterschieden werden, die nur um wenige Schwingungen in der Sekunde differieren, und ein durch öfter wiederholte Versuche eingeübtes Ohr vermag den Unterschied noch zu erkennen, wenn er nur Bruchteile einer Schwingung beträgt. Die Vergleichung sukzessiv angegebener Töne ist hierbei unerläßlich, weil bei dem gleichzeitigen Erklingen Schwebungen entstehen, an denen sich der Höhenunterschied der Töne auch dann verrät, wenn er nicht unmittelbar in der Empfindung aufgefaßt wird. (Vgl. unten c.) Die folgende von PREYER gegebene Zusammenstellung enthält die auf diesem Wege von verschiedenen unabhängigen Beobachtern gewonnenen Resultate. Dabei bezeichnen s und s' die Schwingungszahlen der beiden verglichenen Töne, $d = s - s'$ ist

die absolute Unterschiedsschwelle, $r = \frac{s}{d}$ mißt demnach die relative Unterschiedsempfindlichkeit[1].

Beobachter		s	s'	d	r
DELEZENNE		120,209	119,791	0,418	287
SEEBECK		440	439,636	0,364	1212
PREYER	{	500,3	500	0,300	1666
		1000,5	1000	0,500	2000

Schon diese Reihe zeigt deutlich, daß, im Widerspruch mit der Forderung des WEBERschen Gesetzes, nicht die relative Unterschiedsempfindlichkeit r, sondern die absolute Unterschiedsschwelle d bei verschiedenen Tonhöhen annähernd konstant bleibt. Doch erstrecken sich die Beobachtungen auf zu wenige Tonhöhen, und sind überdies, da sie von verschiedenen Beobachtern herrühren, nicht direkt miteinander vergleichbar. Vollkommen überzeugend ergibt sich aber das nämliche Resultat aus Versuchen von E. LUFT, bei denen die Methode der Minimaländerungen strenger eingehalten war, und mit denen die Versuche M. MEYERS im wesentlichen übereinstimmen[2]. Hier nahm die relative Unterschiedsempfindlichkeit von den tiefen zu den hohen Tönen zuerst rasch und dann langsamer zu, während die absolute zuerst wuchs, um dann innerhalb der mittleren Tonhöhen nahezu vollkommen konstant zu bleiben und erst bei den hohen Tönen abermals abzunehmen. Zugleich fand sich aber die Unterschiedsschwelle wesentlich kleiner, nur etwa halb so groß als in PREYERS Versuchen. In den mittleren Höhen der musikalischen Skala konnten nämlich sukzessiv erklingende Töne noch unterschieden werden, wenn ihr Unterschied nur $^1/_4$—$^1/_5$ einer Schwingung betrug. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der Schätzungen eines Beobachters (LUFT). d_o bedeutet die obere, d_u die untere, d die mittlere Unterschiedsschwelle (Bd. 1, S. 530), $r = \frac{s}{d}$ die relative Unterschiedsempfindlichkeit; unter v_o und v_u sind die mittleren Variationen der Schätzungen d_o und d_u angegeben. Die Versuche sind mit Stimmgabeln auf Resonanzräumen ausgeführt, deren eine, die Normalgabel, unverändert blieb, während die andere, die Vergleichsgabel, durch ein an einer Millimetereinteilung verschiebbares Laufgewicht

[1] PREYER, Die Grenzen der Tonwahrnehmung. 1876, S. 26 ff.

[2] E. LUFT, Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 511 ff. M. MEYER, Zeitschr. f. Psychol., Bd. 16, 1898, S. 352 ff. Die ungeheuren Abweichungen ungeübter gegenüber diesen Ergebnissen von Beobachtern, die auf die Unterscheidung von Tonqualitäten eingeübt sind, konstatierte übrigens STUMPF, der manche Personen unfähig fand, bei dem Intervall der Terz oder selbst der Quinte zwischen dem höheren und dem tieferen Ton sicher zu entscheiden (Tonpsychologie, I, S. 296 ff.). Musikalisch geübte und ungeübte Beobachter verhalten sich übrigens in dieser Beziehung, nachdem erst die unerläßliche Versuchsübung vorübergegangen ist, wie LUFT fand, vollkommen gleich, abgesehen natürlich von Fällen abnormer Unempfindlichkeit.

verstimmt werden konnte. Die Einflüsse der Zeitlage sind in den mitgeteilten, aus 16 Versuchen gewonnenen Zahlen durch Mittelziehung eliminiert worden.

s	d_o	d_u	v_o	v_u	d	r
64	0,151	0,147	0,027	0,032	0,149	430
128	0,168	0,150	0,047	0,035	0,159	805
256	0,202	0,261	0,061	0,052	0,232	1103
512	0,230	0,272	0,040	0,046	0,251	2040
1024	0,256	0,179	0,101	0,081	0,218	4697
2048	0,376	0,347	0,144	0,158	0,362	5657

Die Werte von d zeigen, das innerhalb der musikalisch und namentlich für den Gesang am häufigsten verwendeten Tonhöhen von 256 bis 1024 Schwingungen die absolute Unterschiedsschwelle fast völlig konstant ist.

Da wir, wie die Abstufung der Intervalle der musikalischen Skala zeigt, größere Tonstrecken unter geeigneten Bedingungen viel genauer vergleichen können, als dies jemals bei Intensitätsunterschieden möglich ist, so liegt nun darin schon eine Aufforderung, auch die Methode der mittleren Abstufungen (Bd. 1, S. 590) auf die Tonlinie anzuwenden. Doch liegt eben deshalb zugleich eine Gefahr nahe, der von vornherein durch die Auswahl der verglichenen Tonstrecken vorgebeugt werden muß. Wollte man nämlich bloß solche Intervalle wählen, bei denen der untere und der obere Normalton einem bestimmten Intervall der musikalischen Skala entspräche, so würde offenbar der mittlere Ton zwischen beiden möglicherweise nicht durch eine direkte Vergleichung der Tonstrecken, sondern vermittels der Assoziation mit irgend einem bekannten, zwischenliegenden musikalischen Intervall bestimmt werden können. Es ist daher, um diesen Einfluß zu ermitteln, notwendig, die Versuche so auszuführen, daß ebensowohl beliebige, irrationale, wie einfache, musikalische Intervalle geboten werden. Allgemein werden demnach die Versuche so ausgeführt, daß man dem Beobachter die Aufgabe stellt, zwischen zwei gegebenen um ein beliebiges Intervall entfernten Tönen t und h einen Ton m' zu finden, der als der mittlere zwischen t und h geschätzt wird. Solche Teilungen von Tonstrecken sind allerdings am leichtesten bei den durch musikalische Erfahrung geläufigen Intervallen der Tonskala vorzunehmen; doch gelingt es nach einiger Übung gut, und immer noch viel vollkommener als bei der Anwendung der gleichen Methode auf Schallintensitäten, die Einteilung auch dann auszuführen, wenn die Töne t, h und m' keine musikalischen Intervalle miteinander bilden. Da in den letzteren Fällen die Tonschätzung von dem Einfluß der Gewöhnung an bestimmte Tonstufen frei ist, so werden aber gerade solche Versuche ein zuver-

lässigeres Bild der nach der reinen Empfindung vorgenommenen Einteilung der Tonstrecken geben. Um zugleich den Einfluß der Zeitlage zu eliminieren, bediente sich ferner C. LORENZ[1] in seinen sich über ein weites Tongebiet (von 32 bis 1024 Schwingungen) erstreckenden Versuchen nicht der regelmäßigen Abstufung, sondern des Verfahrens der unregelmäßigen Variation des mittleren Reizes (Bd. 1, S. 594). Demnach wurde in jeder Versuchsgruppe zwischen einem konstant bleibenden tiefen und hohen Ton, t und h, ein mittlerer m_v, welcher variabel war, bald in der Richtung $t\,m_v\,h$, bald in der entgegengesetzten $h\,m_v\,t$ eingeschaltet, und auf diese Weise derjenige Ton m' bestimmt, der nach dem Ergebnis aller Schätzungen der Mitte zwischen t und h entsprach. Auch hier sind

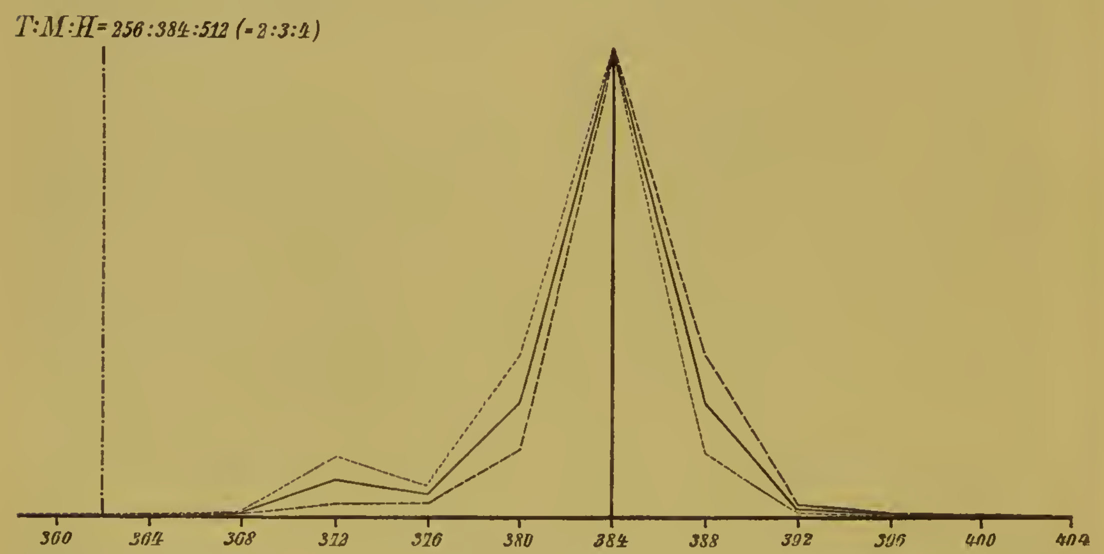


Fig. 173. Halbierung einer Tonstrecke bei einfachem Verhältnis der Schwingungszahlen (2 : 3 : 4).

solche Einteilungen, wie bei der Intensitätsschätzung, nur möglich, so lange der Umfang der Tonstrecken eine gewisse Grenze nicht überschreitet: entfernen sich t und h um mehr als etwa 2 Oktaven, so wird die Bestimmung sehr unsicher. Innerhalb dieser Grenzen zeigt sich aber, daß die geschätzte Tonmitte m' mit der wirklichen absoluten Tonmitte m entweder vollständig oder doch sehr nahe zusammenfällt, und von der nach der Abstufung der musikalischen Tonintervalle zu erwartenden relativen Tonmitte erheblicher abweicht. Diese Tatsache bestätigt sich in allen Fällen, mögen die Töne t, m, h musikalische Intervalle bilden, oder in einem beliebigen unharmonischen Verhältnisse zueinander stehen; doch pflegt im ersteren Fall die richtige Mitteschätzung genauer zu sein als im

[1] C. LORENZ, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 26 ff.

zweiten. Die in Fig. 173 und 174 graphisch wiedergegebenen Resultate zweier Versuchsreihen veranschaulichen dieses Verhältnis. Die Schwingungszahlen sind auf einer Abszissenlinie aufgetragen, die Höhe der Ordinaten entspricht den zugehörigen Prozentzahlen der Mitteschätzungen, die ausgezogene Vertikallinie der absoluten, die unterbrochene der relativen Mitte zwischen *t* und *h*. Die ausgezogene Kurve gibt die Mittelzahlen aus beiden Zeitlagen, die unterbrochene entspricht der Zeitfolge $t\,m_v\,h$, die punktierte der umgekehrten $h\,m\,t$. Die Fig. 173 repräsentiert die Schätzungen bei den harmonischen Intervallen 256 : 384 : 512 (= 2 : 3 : 4), die Fig. 174 entspricht den unharmonischen 296 : 360 : 424 (37 : 45 : 53). Die ungenauere Schätzung im letzteren Fall spricht sich darin aus, daß

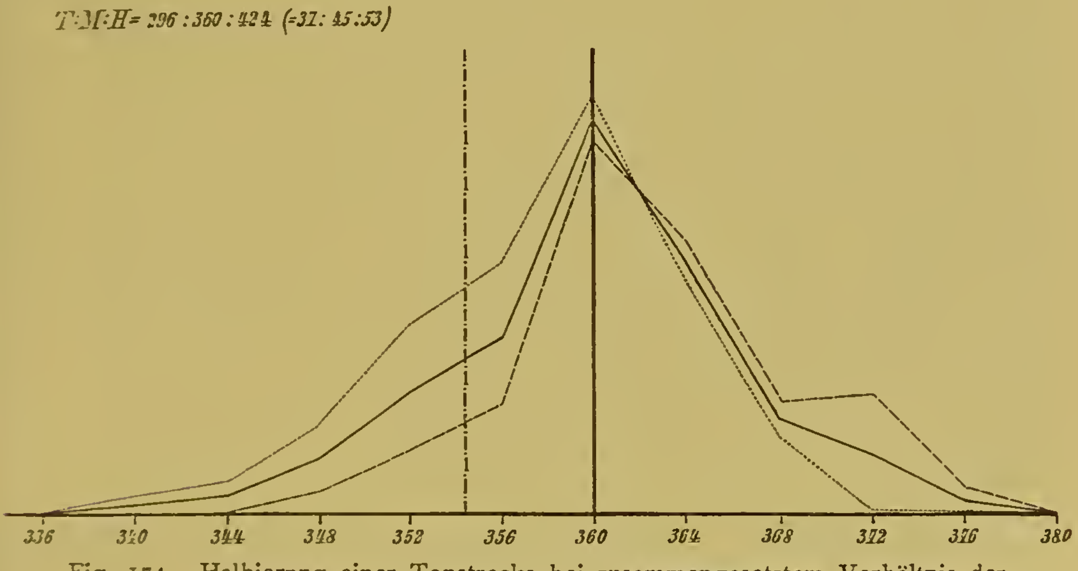


Fig. 174. Halbierung einer Tonstrecke bei zusammengesetztem Verhältnis der Schwingungszahlen (37 : 45 : 53).

viele Mitteschätzungen diesseits wie jenseits der absoluten Mitte vorkommen, so daß die Kurve allmählicher zu ihrem mit *m* zusammenfallenden Maximum ansteigt. In bezug auf den Einfluß der Zeitfolge lehrt das Lageverhältnis der unterbrochenen und der punktierten Linien übereinstimmend, daß man in diesen Fällen bei aufsteigender Folge geneigt war, die tiefer liegenden variabeln Töne relativ tiefer und die höher liegenden höher zu schätzen, als bei absteigender. Doch finden sich in dieser Beziehung nicht nur individuelle Abweichungen, sondern auch solche in den verschiedenen Reihen der nämlichen Versuchsperson. In ihrem Endergebnis bestätigen somit diese Beobachtungen das mittels der Minimalmethode gewonnene Resultat, daß Strecken auf der Tonlinie nach absoluten, nicht nach relativen Unterschieden geschätzt werden, daß also für die Tonqualitäten das WEBERsche Gesetz nicht gilt. Sie bestätigen dieses Resultat

für den Fall, wo die verglichenen Tonstrecken größere, den musikalischen Intervallen entsprechende Werte erreichen. Die Versuche zeigen aber weiterhin, daß, sobald die so nach ihren absoluten Werten verglichenen Tonstrecken selbst mit musikalischen Intervallen zusammenfallen, die Schätzung derselben eine weit exaktere ist, als wo es sich um beliebige andere Tondistanzen handelt. Dieses letztere Ergebnis kann nun in doppeltem Sinne gedeutet werden. Es kann erstens die erworbene Übung in den Intervallen der Tonskala hierbei der Vergleichung zu Hilfe kommen; es kann aber auch zweitens unsere Eigenschaft, Tonstrecken nach ihrem absoluten Werte zu vergleichen, selbst schon auf die Bildung der musikalischen Intervalle eingewirkt haben. Den ersteren Einfluß wird man bei musikalisch geübten Individuen ohne weiteres als einen selbstverständlichen anerkennen müssen. Aber auch den zweiten, umgekehrten Einfluß legt schon der Umstand nahe, daß jene absolute Tonvergleichung für Tonstrecken, die ganz außerhalb irgend welcher musikalisch verwendbarer Intervalle liegen, ebenfalls zutrifft; und dieser Schluß wird durch die Beobachtung bestätigt, daß musikalisch völlig ungeübte Personen, normale Gehörsanlage vorausgesetzt, die Bevorzugung der musikalischen Intervalle durch exaktere Teilung der ihnen entsprechenden gleichen Tonstrecken fast im selben Maße wie musikalisch geübte selbst bei vollkommen obertonfreien Klängen erkennen lassen, unter Bedingungen also, welche die später zu betrachtenden Einflüsse der Partialtöne auf die Konsonanz ausschließen. Alle diese Umstände führen uns zu der Folgerung, daß die Einteilung von Tonstrecken nach gleichen absoluten Unterschieden der Empfindung selbst zu den Momenten gehört, die bei der Bildung der harmonischen Intervalle wirksam gewesen sind. Wie und in welchem Maße sie bei dieser mitgewirkt hat, wird erst in Verbindung mit den sonstigen, dem Gebiet der Vorstellungsbildung angehörenden Bedingungen der Entstehung harmonischer Tonfolgen und Zusammenklänge erörtert werden können (vgl. unten Kap. XII). Für die Auffassung und Vergleichung der Tonempfindungen als solcher sind aber die gleichen Gesichtspunkte, die früher hinsichtlich der auf dem Intensitätsgebiete diesen Erscheinungen analogen Befunde des MERKELschen Gesetzes geltend gemacht wurden, natürlich auch hier maßgebend. Wenn für die Schätzung der Tonstrecken nicht die Vergleichungsfunktion $V_r = \frac{k \Delta E}{E}$, sondern $V_a = k \cdot \Delta E$ gilt (Bd. 1, S. 638), so ist eben darin auch schon eingeschlossen, daß bei dieser Vergleichung nicht die Schwingungszahlen der Töne in Frage kommen, von denen wir ebensowenig wie von den mit der Wage oder mit Phonometer und Photometer gemessenen objektiven Druck-, Schall- und Lichtstärken etwas wissen, sondern daß wir die Empfindungen

als solche nach absoluten, nicht nach relativen Unterschieden vergleichen. Rücksichtlich des Verhältnisses der Empfindungen zu den objektiven Reizen führt dann aber allerdings die Einfachheit der gefundenen Beziehung zugleich zu der Folgerung, daß in den Grenzen, in welchen diese Vergleichung nach absoluten Unterschieden zutrifft, die Änderungen in der Höhenempfindung der Töne den absoluten Änderungen der Schwingungszahlen direkt proportional sind. Doch weisen die Abweichungen bei den tiefsten und höchsten Tönen auch hier auf gewisse Grenzen hin, jenseits deren diese Proportionalität nicht mehr gilt. Dabei ist es bemerkenswert, daß dies ungefähr die nämlichen Grenzen sind, jenseits deren auch unsere Auffassung der musikalischen Intervalle unsicherer wird.

Wie sich der Begriff der Unterschiedsschwelle oder der bei der Intervallmethode für ihn eintretende der Empfindungsstrecke vom Gebiet der Empfindungsstärken ohne weiteres auf das der Tonqualitäten übertragen läßt, bei dem es sich ja eben, wie dort, um ein streng eindimensionales Kontinuum der Empfindungen handelt, so hat nun schließlich auch der Begriff der Reizschwelle, mit den für ihn durch die Umstände gebotenen Modifikationen, bei den Tonempfindungen seine Bedeutung. Dabei bringt es nämlich die Eigentümlichkeit der Reizform in diesem Falle mit sich, daß dieser Begriff in einem doppelten Sinne angewandt werden kann. Erstens kann man unter ihm diejenigen absoluten Schwingungszahlen der Töne verstehen, jenseits deren keine Tonempfindung mehr stattfindet; und zweitens kann man die Zeit, während deren ein Ton einwirken muß, also, da diese Zeit der Zahl einwirkender Schwingungen proportional ist, die Zahl der zur Erzeugung einer bestimmten Tonempfindung erforderlichen Schwingungen als einen solchen Schwellenbegriff betrachten. Der erste dieser Begriffe führt wieder zu zwei entgegengesetzt liegenden Werten, die wir die beiden Höhenschwellen der Töne nennen wollen, einer unteren, der Schwelle der tiefsten, und einer oberen, der Schwelle der höchsten hörbaren Töne. Die zweite Art der Schwelle, die Zeitschwelle, ist dem gegenüber für jeden Ton eine besondere: sie entspricht der Anzahl von Schwingungen, bei der diese die Tonqualität erkennen lassen. Dazu kommt dann noch als eine dritte Art die bereits im vorigen Kapitel behandelte erörterte Intensitätsschwelle (Bd. 1, S. 649).

Um die Höhenschwellen des Tones oder die untere und obere Grenze der Schwingungen zu bestimmen, bis zu denen diese noch als Töne empfunden werden, muß man vor allem möglichst einfache Töne, also Sinusschwingungen in dem oben definierten Sinne, auf das Ohr einwirken lassen, was am besten mittels Stimmgabeln von sehr großen und sehr kleinen Dimensionen geschieht. Die Anwendung von Resonanz-

räumen ist bei solchen Stimmgabeln von extremen Dimensionen nicht mehr möglich. Doch kann man bei den tiefen Gabeln die Obertöne durch Laufgewichte, die mit den Knotenpunkten der schwingenden Stäbe zur Deckung gebracht werden, wesentlich abschwächen. Gleichwohl begegnet die sichere Bestimmung beider Tongrenzen großen Schwierigkeiten, teils wegen der sehr geringen Intensität der sich der Schwelle nähernden Töne, teils wegen der bei den tiefsten und höchsten Tönen zunehmenden Unsicherheit der Intervallempfindung, die bei den ersteren die Verwechselung mit Obertönen begünstigen kann. Als einigermaßen gesicherte untere Grenze darf wohl ein Ton von etwa 12, als obere ein solcher von etwa 50000 Doppelschwingungen in der Sekunde gelten. Doch schwanken die verschiedenen Beobachter rücksichtlich des tiefsten Tons zwischen 8 und 24—30, rücksichtlich des höchsten zwischen etwa 20000 und 60000. Zum Teil mögen diese Widersprüche auf individuellen Unterschieden beruhen. Namentlich scheint sich die Abnahme der Hörschärfe im höheren Lebensalter auch darin zu verraten, daß der tiefste Ton herauf- und der höchste herabrückt[1].

Gegenüber diesen beiden Höhenschwellen des Tones ist nun die Zeitschwelle oder diejenige kleinste Zahl von Schwingungen, bei der die letzteren den Toncharakter annehmen, eine für jeden einzelnen Ton geltende Größe, von der von vornherein zu erwarten ist, daß sie sich mit der Geschwindigkeit der Schwingungen verändern werde. Grenzbestimmungen dieser Art lassen sich auf doppelte Weise ausführen. Entweder läßt man die Schwingungen einer Stimmgabel nur während einer genau meßbaren Zeit auf das Ohr einwirken[2], oder man erzeugt objektiv Luftstöße, die nur während einer sehr kurzen Zeit andauern[3]. Diese nach verschiedenen Methoden von EXNER, PFAUNDLER, KOHLRAUSCH u. A. ausgeführten Versuche ergaben übereinstimmend, daß unter günstigen

[1] Vgl. über die Frage der tiefsten und höchsten Töne die Verhandlungen zwischen A. APPUNN, MELDE, STUMPF und R. KÖNIG in WIEDEMANNs Annalen der Physik, Bd. 61, S. 760. Bd. 64, S. 409. Bd. 65, S. 645. Bd. 67, S. 222, 781, und Bd. 68, S. 99, 869 (1897 bis 1899), dazu K. L. SCHÄFER, Die Bestimmung der unteren Hörgrenze. Zeitschr. f. Psychol., Bd. 21, 1899, S. 161. SCHWENDT, Über höchste hörbare Töne. Archiv f. Ohrenheilkunde, Bd. 49, 1900, S. 1. ZWAARDEMAKER und QUITT, ENGELMANNs Archiv f. Physiol. 1904, S. 25 ff. M. WIEN, PFLÜGERs Archiv, Bd. 97, 1904, S. 1 ff. Über individuelle Unterschiede F. BEZOLD, Über die funktionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans. 1897, S. 203 ff. Über die damit zusammenhängenden, vornehmlich otiatrisch wichtigen Bestimmungen der »Hörschärfe«, bei denen ebenfalls die Höhe der angewandten Töne in Betracht kommt, vgl. außerdem OSTMANN, ENGELMANNS Archiv 1903, S. 321 ff., Archiv f. Ohrenheilkunde, Bd. 59, S. 137 ff. und Bd. 62, S. 48, 53 ff. QUITT, ebend. Bd. 63, S. 118 ff. und ENGELMANNs Archiv 1905, Suppl. S. 305 ff.

[2] EXNER, PFLÜGERs Archiv, Bd. 13, S. 228. R. SCHULZE, Phil. Stud. Bd. 14, S. 471 ff.

[3] PFAUNDLER, Sitzungsber. der Wiener Akad. 2. Abt., Bd. 76, S. 561. W. KOHLRAUSCH, WIEDEMANNs Annalen, Bd. 10, S. 1. ABRAHAM und BRÜHL, Zeitschr. f. Psychol. Bd. 18, S. 177.

Umständen zwei Schwingungen zur Erkennung des Toncharakters genügten, während eine viel größere Zahl, durchschnittlich etwa 16 Schwingungen, erforderlich ist, um die Tonhöhe sicher bestimmen zu können. In den Versuchen von R. BODE mit schwachen und mittelstarken Stimmgabelklängen nahm zugleich diese Zahl mit der Tonhöhe von 12 bei 128, bis ca. 30 bei 512 Schwingungen zu[1]. Setzt man jedoch die Beobachtungen während einer längeren Zeit fort, wie es in den Versuchen von R. SCHULZE geschah, so zeigt es sich, daß namentlich der letztere Zahlenwert in hohem Grad von der Übung abhängt, und daß bei maximaler Übung meist die zur Erkennung des Toncharakters notwendige Schwingungszahl mit der zur Erkennung der Tonhöhe erforderlichen zusammenfällt.

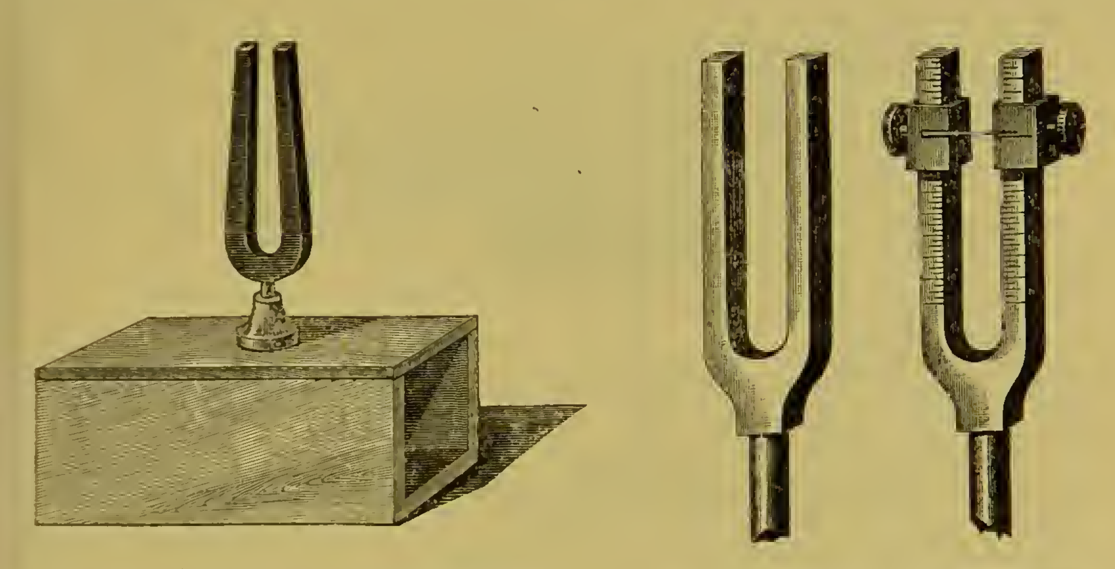


Fig. 175. Stimmgabel auf Resonanzkasten.

Fig. 176. Stimmgabeln zur Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit.

Zur Untersuchung der verschiedenen Verhältnisse der Tonempfindungen und insbesondere der Unterschiedsempfindlichkeit für Töne ist es zumeist wünschenswert, relativ einfache Klänge anzuwenden. Man bedient sich dazu am besten möglichst obertonfreier Stimmgabeln, die mit abgestimmten Resonanzräumen in Verbindung stehen. Meist benützt man dazu die von den Akustikern eigens zu diesem Zweck angefertigten Stimmgabeln, die direkt auf einen genau ihrem Ton entsprechenden, an der einen Seite offenen Resonanzkasten aufgeschraubt sind (Fig. 175). Für exakte Versuche ist es zugleich erforderlich, daß die Klänge erst einige Zeit nach dem Anstreichen oder Anschlagen der Stimmgabel hörbar werden, weil erst solche ausklingende Töne zureichend rein sind. Bei der Anwendung einer der Minimalmethoden bedarf man ferner für jeden zu untersuchenden Ton zweier gleichgestimmter Gabeln, von denen die eine, die Normalgabel, eine feste

[1] BODE, Psychol. Stud. Bd. 2, 1907, S. 315.

Stimmung hat, die andere, die Vergleichsgabel, durch die Verschiebung von Laufgewichten an einer Millimeterskala gegen jene verstimmt werden kann (Fig. 176). Zur genauen Einstellung dient ein an dem einen Laufgewicht festgelöteter Draht, der mit einer an dem andern Gewicht angebrachten Marke in jeder Stellung genau zur Deckung kommen muß. Zur Erzielung kleinster Abstufungen ist unter Umständen noch die Anbringung eines zweiten, viel kleineren und selbständig beweglichen Laufgewichts wünschenswert. Bei Versuchen nach der Methode der Minimaländerungen wird dann in der in Bd. 1, S. 588 ff. angegebenen Weise verfahren, indem man immer in gleichen Pausen die Gabeln sukzessiv mit einem Klavierhammer anschlägt und, vom Einklange ausgehend, die obere und untere Unterschiedsschwelle in den verschiedenen Zeitlagen aufsucht. Die diesen Schwellen entsprechenden Schwingungsdifferenzen beider Gabeln werden dann durch Zählen ihrer Schwebungen

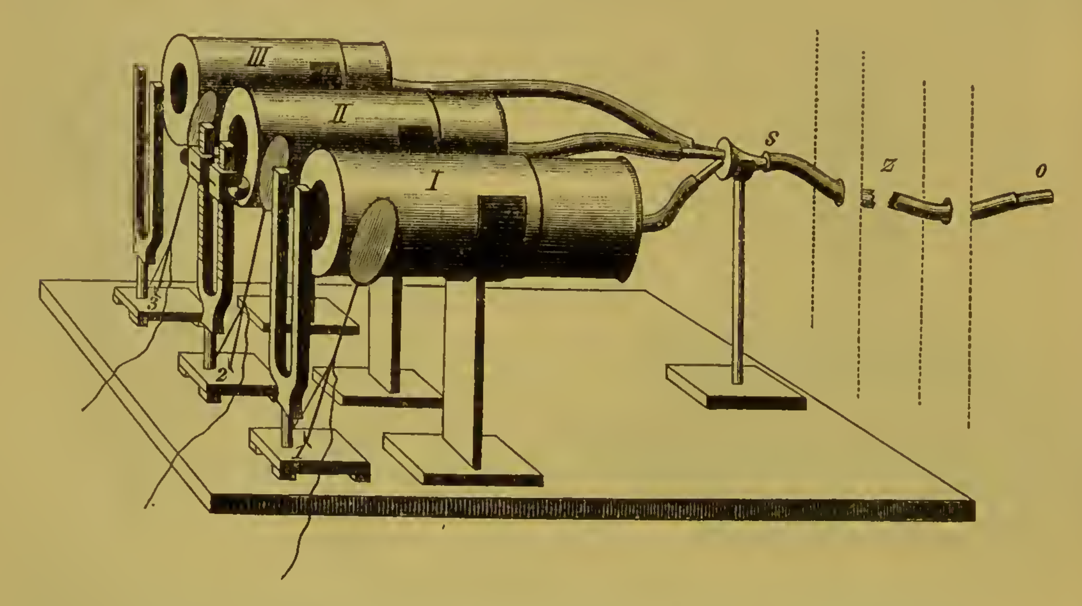


Fig. 177. Versuchsanordnung zur Methode der mittleren Abstufungen.

bei gleichzeitigem Anschlagen ermittelt. Um die Teilung von Tonstrecken nach der Methode der mittleren Abstufungen auszuführen, werden, wie es Fig. 177 zeigt, drei solche Stimmgabeln vor auf sie abgestimmten und durch Ausziehen in ihrer Stimmung etwas veränderlichen Resonanzröhren (*I*, *II*, *III*) aufgestellt. Das Ende einer jeden der letzteren mündet in einem Kautschukschlauch, der bei *s* in einen einzigen in ein entferntes Zimmer geleiteten Schlauch übergeht, wie in der Figur durch den Zwischenraum *z* angedeutet ist. Dort befindet sich die Versuchsperson, die das in eine kleine Glasröhre *o* mündende Ende des Schlauchs in das Ohr steckt. In einer Versuchsreihe läßt man nun die zwei Gabeln *1* und *3*, die tiefste und höchste, in ihrer Stimmung konstant, während die mittlere *2* in jedem Versuch durch Verschiebung der Laufgewichte nach einem zuvor von dem Experimentator festgestellten Plane in ihrer Tonhöhe variiert wird. Beim Beginn des Versuchs werden die drei Gabeln rasch nacheinander angeschlagen und dann in einem genau abzumessenden Tempo jede der Resonanzröhren durch Zug an den

entsprechenden Federn während einer kurzen, ebenfalls abgemessenen Zeit geöffnet und sofort wieder geschlossen. Die Beobachtung in einem entfernten Raum bietet den Vorteil, daß die Versuchsperson, vor allen Nebengeräuschen geschützt, nur die drei, ihr kurz vorher durch ein telegraphisches Signal angekündigten Töne wahrnimmt[1].

Zu Untersuchungen, die sich über eine sehr große Zahl von Tönen erstrecken, wird man jedoch in der Regel zu andern Klangquellen, namentlich zu den leicht in großer Anzahl herzustellenden Zungenpfeifen, seine Zuflucht nehmen müssen. Die so erzeugten Klänge sind nicht mehr annähernd einfach, sondern sie enthalten neben dem stärkeren Grundton schwächere Obertöne von der 2-, 3-, 4 . . . fachen Schwingungszahl des ersteren. Um einen solchen Klang in bezug auf seine Obertöne zu analysieren, bedient man sich wiederum der Resonatoren, aber in einer Form, wie sie die Fig. 178 darstellt. Für einen Klang von der Schwingungszahl s ist zur Analyse der Obertöne eine Reihe solcher Resonatoren erforderlich, die einzeln auf die Schwingungszahlen $2s$, $3s$, $4s$ . . . abgestimmt sind. Das Ende b des Resonators wird



Fig. 178. Resonanzröhre.

in das Ohr gebracht, das Ende a der Schallquelle zugekehrt. Am zweckmäßigsten werden diese Resonatoren, namentlich die größeren, aus Zinkblech angefertigt. Da übrigens Resonanzräume nicht bloß auf ihren Eigenton, sondern auch auf tiefere Töne, in deren Obertonreihe jener Eigenton gehört, in Mitschwingungen geraten können, so ist der durch einen Resonator gehörte Oberton im allgemeinen erst dann mit Sicherheit als Partialton des analysierten Klangs vorauszusetzen, wenn es gelingt, ihn auch ohne Resonator in demselben zu hören[2]. Die Resonatoren dienen also nicht sowohl der endgültigen Nachweisung als der ersten Entdeckung schwacher Obertöne, die man mit bloßem Ohr erst zu hören pflegt, wenn zuvor infolge ihrer resonatorischen Verstärkung die Aufmerksamkeit auf sie gelenkt worden ist.

Für psychologische Untersuchungen, bei denen man einer großen Reihe wenig verschiedener Klänge bedarf, haben G. und A. APPUNN in ihren Tonmessern eine größere Zahl abgestimmter Zungenpfeifen in je einem einzigen Apparat vereinigt. Jeder besteht aus einem System von metallischen Zungen, die von einem darüber befindlichen Blasebalg aus einzeln erregt werden können. Die Fig. 179 zeigt das Instrument im geöffneten Zustand, den Deckel mit dem

[1] Um die Verhältnisse der Tonempfindung in verschiedenen Tonhöhen mit Hilfe solcher Resonanzverstärkungen bei kontinuierlicher Abstufung der Töne zu untersuchen, hat K. L. SCHÄFER einen »kontinuierlichen Resonatorenapparat« konstruiert, der ein mittleres Tongebiet von 4 Oktaven samt den zugehörigen durch Laufgewichte abzustufenden Stimmgabeln umfaßt und mittels der angebrachten Skalen leicht eine rasche Einstellung auf jeden gewünschten Ton innerhalb des angegebenen Umfangs zuläßt (PASSOW und SCHÄFER, Beiträge zur Anat. Physiol. etc. des Ohres, Bd. 3).

[2] H. GRASSMANN, WIEDEMANNS Annalen, Bd. 1, S. 606.

darin befindlichen Blasebalg zurückgeschlagen, um die Reihe der Zungen sichtbar zu machen. An der vordern Wand befindet sich eine Reihe von Knöpfen (1 bis 32), an denen die zu den einzelnen Zungen gehörigen Ventile gezogen werden, um die Zungen zum Tönen zu bringen. Die Luft wird durch einen Blasetisch geliefert, auf welchen man das ganze Instrument aufsetzt. Durch die Öffnung *a* des Zugangsrohres strömt die Luft aus dem Blasetisch ein und hebt das bei geschlossenem Instrument unmittelbar auf *a* ruhende Ventil *b* in die Höhe, um durch dasselbe in den über den Zungen befindlichen Raum einzuströmen und die einen Blasebalg bildende Decke des Instruments in die Höhe zu heben. Zur Regulierung des Luftdrucks ist an der Decke ein Faden *c* angebracht, der, sobald er durch Emporheben der Decke zureichend gespannt ist, den auf das Ventil *b* von oben drückenden Hebel *d* bewegt und so durch Schluß des Ventils den Zugang der Luft hemmt. Wird nun, während der

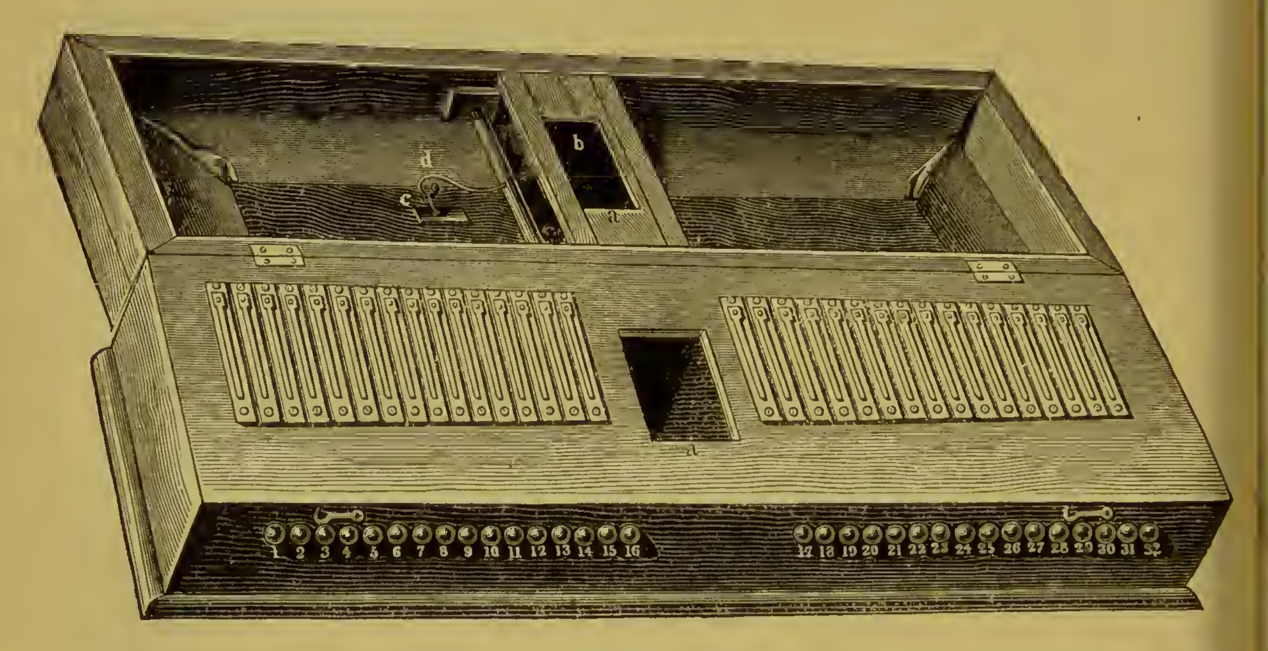


Fig. 179. APPUNNscher Tonmesser.

Blasebalg über den Zungen gefüllt ist, eines der Ventile 1 bis 32 gezogen, so gerät alsbald die betreffende Zunge in Schwingungen, indem die Luft an ihr vorüber nach unten entweicht. Bei den tieferen und mittleren Lagen der musikalischen Skala genügt bei der Abstufung nach 2 oder 4 Schwingungen je ein Tonmesser für eine Oktave, bei den höchsten wird es nötig, die Oktave auf mehrere Instrumente zu verteilen. A. APPUNN hat solche Tonmesser in den verschiedenen Tonlagen von 32 Schwingungen an bis zu 1024 Schwingungen hergestellt, die beiden tiefsten Oktaven in Abstufungen von 2, die andern in solchen von 4 Schwingungen. Ähnlich den Tonmessern hat man nach dem Vorgang von F. GALTON namentlich für höhere Töne kleine Lippenpfeifen angewandt (Galtonpfeifen), die zugleich, weil bei ihnen die Tonhöhe von der Länge des Rohres abhängt, leicht eine stetige Abstufung der Tonhöhe gestatten. Doch leiden sie erheblich mehr als die Zungenpfeifen der

Tonmesser an dem Übelstand, daß die Verstärkung des Tones zugleich eine Erhöhung derselben herbeiführt[1].

Die allgemeinen Resultate der von C. LORENZ mittels der Tonmesser ausgeführten Versuche über die Schätzung von Tondistanzen nach der Methode der mittleren Abstufungen zeigen, daß die Teilung nach gleichen absoluten Distanzen eine sicherere ist, wenn dieselben harmonischen Intervallen entsprechen, aber daß sie auch bei gänzlich unharmonischen Tonfolgen noch deutlich ist, indem die Mittelwerte der Schätzungen stets mit dem arithmetischen Mittel sehr nahe zusammenfallen und sich von dem geometrischen beträchtlicher entfernen[2]. Noch deutlicher tritt das nämliche Resultat bei der Verwendung einfacher Stimmgabelklänge nach der in Fig. 177 angegebenen Methode, offenbar infolge der durch das Schwinden der Obertöne wesentlich vereinfachten Bedingungen der Vergleichung hervor. Auch beobachtet man dabei, daß bei Tonstrecken eine solche messende Schätzung viel leichter ist als etwa bei Empfindungsintensitäten, so daß sich jene zur allgemeinen Demonstration der Methode der mittleren Abstufungen besonders gut eignen. Ich habe zu diesem Zweck zwei Serien von je vier Stimmgabeln auf Resonanzkästen anfertigen lassen, die den in Fig. 173 und 174 dargestellten Tonverhältnissen entsprechen, indem sie neben dem arithmetischen auch den geometrischen Mittelton (*a* und *g*) enthalten. Läßt man dann sukzessiv die Tonfolgen *t a h* und *t g h* erklingen, so wird in beiden Fällen, ob es sich um eine harmonische oder eine unharmonische Tonfolge handelt, durchweg *a* als die Mitte der Tonstrecke *t h* geschätzt[3].

Infolge der Bedeutung, die, wie der Übergang der Tonlinie in die Tonskala zeigt, die musikalischen Intervalle für die Tonwahrnehmung besitzen, bietet sich im Gebiet der Töne noch ein spezifisches Problem der Unterschiedsempfindlichkeit, dem in andern Empfindungsgebieten kein analoges gegenübersteht: man kann nämlich die Frage aufwerfen, welche Unterschiedsschwelle bei einem bestimmten Intervall in bezug auf etwaige Abweichungen der gegebenen Tonhöhen von demselben besteht. Auch diese Unterschiedsempfindlichkeit für Intervalle kann wieder nur für sukzessive Töne bestimmt werden, weil sich bei Zusammenklängen die unmittelbaren Erscheinungen der Konsonanz und bei der Abweichung vom richtigen Intervall die Schwebungen als indirekte Merkmale geltend machen. Außerdem sind die Beobachtungen selbstverständlich nur bei musikalisch beanlagten Menschen möglich, d. h. bei solchen, die, wenn ihnen Intervalle wie Oktave, Quinte, Terz usw. gegeben werden, für dieselben ein zureichendes musikalisches Gehör und Gedächtnis besitzen, um sie wenigstens für die Dauer eines Versuchs festzuhalten und wiederzuerkennen. Führt man unter dieser Voraussetzung

[1] MYERS, Journ. of Physiol., vol. 28, 1902, p. 417. Übrigens hat SCRIPTURE (Yale Psychol. Labor. 1893, p. 80) auch eine kontinuierliche Zungenpfeife mit Hilfe eines auf den Zungen verschiebbaren Gleitstabes hergestellt, und eine ähnliche ist von E. VON HORNBOSTEL als »Reisetonometer« besonders zur Untersuchung der musikalischen Hörfähigkeit von Naturvölkern vorgeschlagen worden (E. ZIMMERMANNS Katal. psychol. u. physiol. Apparate).

[2] C. LORENZ, Phil. Stud. Bd. 6, S. 85 ff.

[3] Über einige von C. STUMPF (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 1, S. 419. Bd. 2, S. 266 ff.) vorgebrachte Einwände vgl. meine kritischen Bemerkungen, Philos. Stud., Bd. 6, 1891, S. 605. Bd. 7, 1892, S. 296 ff.

die Versuche aus, so ergibt sich nun, daß im allgemeinen die Unterschiedsempfindlichkeit für Intervalle im allgemeinen mit der Einfachheit der Tonverhältnisse gleichen Schritt hält. Dies zeigen die folgenden von J. SCHISCHMANOW[1] an Stimmgabelklängen in einer mittleren Tonlage (zwischen 256 und 512 Schwingungen) für beide Schwellen gewonnenen Werte:

	Oktave	Quinte	Quarte	Gr. Sexte	Gr. Terz
Untere Schwelle	0,164	0,253	0,262	0,345	0,326
Obere »	0,276	0,414	0,577	0,659	0,644

	Kl. Terz	Gr. Sekunde	Kl. Sexte	Kl. Septime	Gr. Septime
Untere »	0,392	0,399	0,498	0,501	0,619
Obere »	0,822	0,697	0,846	0,854	0,104

Dabei zeigte sich aber, wie begreiflich, die musikalische Übung von viel größerem Einfluß als bei der Unterschiedsempfindlichkeit für den Einklang. Auch fanden sich, wie schon PREYER[2] beobachtete, in der Reihenfolge namentlich der mittleren Intervalle der obigen Reihe (Quarten, Terzen, Sexten) individuelle Unterschiede. Am schärfsten ist die Bestimmung des Gleichheitspunktes, der bei den Abstufungen nach der Minimalmethode innerhalb der Grenzen der Genauigkeit, die bei der gewählten Größe der Stufen möglich sind, in einzelnen Beobachtungen mit dem wirklichen Gleichheitspunkt zusammenfällt.

Ferner sind die oberen Schwellen durchgängig größer als die unteren, im Gegensatze zu den Verstimmungen des Einklangs, wo beide annähernd einander gleich sind. Am auffallendsten ist dieser Unterschied bei der kleinen Terz. Endlich ergeben sich die Unterschiede der Schwellen bei harmonischen und disharmonischen Intervallen größer bei musikalisch geübten als bei ungeübten Beobachtern. So deutlich daher die Bevorzugung, welche die musikalischen Intervalle vermöge der natürlichen Anlage unseres Gehörssinns vor andern beliebigen Tonstrecken genießen, schon darin zu erkennen ist, daß die oben angeführte Reihenfolge im allgemeinen auch für ungeübte, aber musikalisch normal beanlagte Personen gilt, so erhellt doch aus ihnen nicht minder, daß diese Beobachtungen mit denen über die eigentliche Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen nicht direkt vergleichbar sind. Die letzteren beziehen sich überall auf eine unmittelbare Vergleichung der Empfindungen, die Versuche über Intervallempfindlichkeit sind aber ihrem Wesen nach Gedächtnisversuche, und der Grad der Feinheit des sogenannten »Intervallsinns« hängt daher zum einen Teil freilich von der natürlichen Bevorzugung der musikalischen Intervalle, zum andern Teil aber von dem Tongedächtnis ab. Dies zeigt sich schon darin, daß man den Beobachtern, wenn sie nicht eine sichere musikalische Übung besitzen, vor Beginn jeder Versuchsreihe das zu untersuchende Intervall womöglich mehrmals angeben muß, wenn sie der gestellten Aufgabe überhaupt nachkommen sollen[3].

---

[1] SCHISCHMANOW, Philos. Stud. Bd. 5, 1889, S. 558 ff.

[2] PREYER, Die Grenzen der Tonwahrnehmung, S. 38 ff.

[3] STUMPF und MEYER tadeln es, daß SCHISCHMANOW bei seinen Versuchen zuvor das musikalisch reine Intervall angegeben und den Beobachtern eingeprägt habe. Dadurch sei »der Hauptzweck der Untersuchung von vornherein vereitelt worden«! (Zeitschrift für

Noch augenfälliger weisen auf diesen Einfluß der Übung und des Gedächtnisses die Beobachtungen hin, die STUMPF und MEYER an einer Anzahl geübter Musiker ausführten[1]. Bei diesen wurden zugleich die durch Sukzession der Töne hervorgebrachten Intervalle mit den entsprechenden Zusammenklängen verglichen. Hierbei zeigte sich, daß die Genauigkeit der Intervallauffassung bei der Sukzession erheblich größer ist als beim Zusammenklang, und daß sie bei einfachen Stimmgabelklängen größer ist als bei obertonreichen Klängen, eine Tatsache, welche die ohnehin schon durch die Genauigkeit der Intervallvergleichung an Stimmgabeln sehr unwahrscheinliche Annahme G. E. MÜLLERS widerlegt, Intervalle obertonfreier Töne seien überhaupt nur infolge der Assoziation mit obertonreichen Klängen zu erkennen[2]. Weiterhin ergab sich, wie in den Versuchen von SCHISCHMANOW, daß die obere Unterschiedsschwelle erheblich größer war als die untere, daß man also eine Vergrößerung des Intervalls leichter erträgt als die Verkleinerung. Daneben fand sich aber das von den früheren Resultaten PREYERS und SCHISCHMANOWS abweichende Ergebnis, daß die Empfindlichkeit für die verschiedenen Intervalle ziemlich gleich zu sein schien, mit Ausnahme der Oktave, die die ungünstigsten Verhältnisse zeigte. Nun lassen diese Versuche eigentliche Schwellenvergleichungen bei den einzelnen Intervallen allerdings nicht zu, und das eigentümliche, eine ziemlich irreguläre Kombination zwischen den verschiedenen Minimalmethoden darstellende Verfahren begegnet überhaupt methodischen Bedenken. Nichtsdestoweniger scheint das Resultat, daß bei sehr geübten Musikern die Unterschiedsschwellen mehr und mehr sich ausgleichen und die Oktave das relativ am wenigsten durch die Übung begünstigte Intervall ist, leicht erklärlich zu sein und zugleich einen Beleg für den obigen Satz zu bilden, daß die Intervallversuche zu einem wesentlichen Teil den Charakter von Gedächtnisversuchen besitzen. Ein Musiker, der fortwährend mit den verschiedenen musikalischen Intervallen umzugehen hat, wird bald namentlich für die innerhalb der Oktave liegenden eine ungefähr gleiche Übung erlangen; bei der Oktave ist dieser Anlaß ein minder zwingender, weil jene engeren Intervalle der Gedächtnisübung im musikalischen Gebrauch die günstigeren Chancen bieten.

Die obere und untere absolute Tonschwelle suchte zuerst PREYER gemeinsam mit GEORG APPUNN exakt mit Hilfe von Stimmgabeln zu bestimmen. Sie fanden die untere Tongrenze bei 16, die obere etwa bei 40000 Doppelschwingungen in der Sek.[3] ANTON APPUNN, ein ebenfalls mit ungewöhnlich feinem Gehör ausgerüsteter Akustiker, glaubte später nach den von ihm an

---

Psychologie, Bd. 18, S. 378.) Diese Bemerkung scheint auf einem Übersehen der Tatsache zu beruhen, daß alle diese Intervallversuche wesentlich Gedächtnisversuche sind. Wenn man ähnliche Versuche an geübten Musikern ausführt, so kann man allerdings die vorherige Angabe des Intervalls entbehren, weil diese Personen jedes Intervall an und für sich schon so fest ihrem Gedächtnis eingeprägt hatten, daß eine Wiederholung überflüssig wird.

[1] STUMPF und MEYER, Maßbestimmungen über die Reinheit konsonanter Intervalle. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 18, S. 322 f. Auch abgedruckt in STUMPFS Beiträgen zur Akustik und Musikwissenschaft, Heft 2, 1898, S. 84 ff.

[2] G. E. MÜLLER, Zur Grundlegung der Psychophysik, S. 285.

[3] PREYER, Die Grenzen der Tonwahrnehmung. 1876. Akustische Untersuchungen. 1879, S. 1 ff.

selbstverfertigten Stimmgabeln und an für die höchsten Töne abgestimmten Galtonpfeifchen angestellten Versuchen nach beiden Seiten erheblich weiter gehen zu können: nach unten bis in die Gegend von 8, nach oben bis in die von 60000 Schwingungen in der Sek. Aber da er sich bei der Bestimmung der Tonhöhen wesentlich nur auf sein Gehör verließ, so regten sich bald gegen diese Angaben von mehreren Seiten Bedenken, um so mehr da die Intervallunterscheidung bei den tiefsten wie bei den höchsten Tönen sehr unsicher wird. Mit Recht verlangte man daher den objektiven Nachweis, daß die benutzten Tonerzeuger wirklich den betreffenden Ton geben, und nicht bei den tiefsten Tönen einen höheren (einen Oberton oder bei der Benutzung von Differenztönen einen Zwischenton), bei den höchsten einen tieferen. In der Tat glaubten namentlich Melde und R. König für die höchsten der von A. Appunn angegebenen Töne das letztere beweisen zu können. Dabei ist man nun freilich wohl nach der entgegengesetzten Seite zu weit gegangen, wenn die obere Grenze gelegentlich auf 16—24000, die untere auf 24 bis 30 Schwingungen angesetzt wurde. Dem gegenüber hat K. L. Schäfer auf Grund der Beobachtung von Unterbrechungstönen, die durch regelmäßige Unterbrechungen eines andern Tones entstehen, entschieden wieder 16 Schwingungen als die untere Grenze bezeichnet[1]. Für die Untersuchung der unteren Tongrenze hat ferner A. Appunn in neuerer Zeit Drahtstimmgabeln aus dickem Stahldraht hergestellt, die mit festgelöteten Messinggewichten belastet sind. Die vollständige Serie dieser Gabeln umfaßt in Abstufungen von je zwei Schwingungen die Töne von 8—24 Schwingungen. Beginnt man mit der höchsten dieser Gabeln, so sind, wenn man die Gabel dicht vor das Ohr hält, die Töne sehr deutlich wahrzunehmen. Beim Herabgehen zu den langsameren Schwingungen wird dann der Ton gleichzeitig leiser und tiefer, und man vermag meist noch bei 14 Schwingungen sehr deutlich den Ton als tiefer von den vorangegangenen zu unterscheiden. Weiter herab, bei 12 und 10 Schwingungen, hat man zwar noch die Empfindung eines Tons, dieser bleibt aber in seiner Höhe unbestimmt[2]. Zu ähnlichen Resultaten gelangte F. Bezold in Versuchen mit einer von Edelmann hergestellten kontinuierlichen Tonreihe in Stimmgabeln[3]. Durch die kontinuierlich wahrzunehmende Vertiefung des Tons scheint bei diesem Versuch die Verwechslung mit Obertönen ausgeschlossen zu sein; auch sind diese bei den dünnen Drahtgabeln wahrscheinlich zu schwach, um hörbar zu sein. Danach ist wohl anzunehmen, daß die untere Hörgrenze noch etwas tiefer als auf 16 Schwingungen herabgeht. Wahrscheinlich sind aber hier die individuellen Unterschiede nicht unbeträchtlich. Ähnlich sind wohl die im Widerspruch gegen A. Appunn vielfach gemachten Angaben über die Grenze der höchsten hörbaren Töne im allgemeinen zu niedrig gegriffen. Wenn man die kleinen von A. Appunn gefertigten Stimmgabeln von 16000 bis zu angeblich 60000 Schwingungen an

---

[1] K. L. Schäfer, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 21, S. 161.

[2] Neun in der Unterscheidung von Tonhöhen geübte Beobachter, an denen diese Versuche vorgenommen wurden, stimmten in dieser Beziehung in ihren Aussagen nahezu vollständig überein. Fünf von ihnen hatten noch bei 8 Schwingungen eine in ihrer Höhe unqualifizierbare Tonempfindung; einige beurteilten diese tiefsten Töne etwas höher als den Ton von 14 Schwingungen.

[3] F. Bezold, Über die funktionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans. 1897, S. 230.

ihren freien Enden mit einem aufgekitteten Korkblättchen armiert und dann mit einem feuchten Glasstab kräftig anstreicht, so gelingt es nicht selten deutlich in ihrer Intensität immer mehr abnehmende und in ihrer Höhe zunehmende Töne bis zu einer angeblich bei etwa 50000 liegenden Gabel zu verfolgen. Die höchsten und leisesten dieser Töne sind am besten bei sonstiger absoluter Stille in einiger Entfernung wahrzunehmen. Nun ist freilich der Intervallsinn in dieser Region so unsicher, daß man die Möglichkeit einer absoluten Höhenbestimmung bezweifeln muß. Immerhin spricht die fortwährende Erhöhung des Tons, die man von der in ihrer Tonhöhe sicher bestimmbaren Grenze an wahrnimmt, für die sehr hohe Lage dieser Töne. Ähnliches zeigt die Vergleichung einer den kleinen Stimmgabeln analogen Serie von Galtonpfeifchen. Zum selben Resultat führten denn auch die Versuche von A. SCHWENDT, bei denen die objektiven Schwingungszahlen mittels KUNDTscher Staubfiguren bestimmt wurden. Dieser Beobachter, der selbst früher in Versuchen, die er unter der Mitwirkung und mit den Apparaten von R. KÖNIG ausgeführt, die APPUNNschen Angaben viel zu hoch gefunden hatte[1], fand nämlich in späteren mit A. EDELMANN ausgeführten Beobachtungen bei Klangstäben und Stimmgabeln die obere Grenze bei c^7, bei Galtonpfeifen bei d^8 bis fis^8, also etwa zwei Oktaven höher als der höchste musikalisch verwendete Ton (c^5), und demnach bei einer Schwingungszahl von 37000 bis 48000 Schwingungen. Mittels der KUNDTschen Staubfiguren konnte darüber hinaus schon KÖNIG unhörbare Töne bis zu 90000, EDELMANN solche bis zu 160000 Schwingungen (e^{10}) nachweisen[2]. Übrigens zeigen sich bei dieser oberen Grenze wohl noch größere individuelle Unterschiede als bei der unteren, indem namentlich im höheren Lebensalter die Grenze herabrückt. Im ganzen kommen aber alle diese Ergebnisse den APPUNNschen Grenzbestimmungen, namentlich den ursprünglichen G. APPUNNs, wieder am nächsten.

Etwas größerer Übereinstimmung als die Angaben über die beiden Höhenschwellen erfreuen sich die über die Zeitschwellen, wo die Beobachtungen im allgemeinen zu dem Ergebnis geführt haben, daß bei 2 Schwingungen in den mittleren Tonhöhen die äußerste Zeitgrenze einer noch unbestimmten Tonempfindung liegt, und daß die genauere Erkennung der Tonhöhe von annähernd 16 Schwingungen an mit wachsender Übung gegen denselben Wert konvergiert. In den Versuchen von R. SCHULZE schien jene Grenze von 2 Schw. allerdings nicht die letzte überhaupt erreichbare zu sein; doch kommen die Abweichungen hier wahrscheinlich auf Rechnung der Reflexion der Schallwellen in dem Zuleitungsrohr[3]. Übrigens gelten beide Zeitgrenzen überhaupt nur bis zu einer mittleren Tonstärke und Tonhöhe. Bei den höchsten sowie bei leisen Tönen nehmen, wie ABRAHAM und BRÜHL und R. BODE übereinstimmend fanden, beide Schwellen erheblich zu[4].

Als eine dritte Art von Schwelle kann endlich beim Gehörssinn auch noch eine Veränderungsschwelle unterschieden werden, die in Anbetracht

[1] PFLÜGERS Archiv, Bd. 75, 1899, S. 346. Vgl. auch R. KÖNIG, WIEDEMANNS Ann. Bd. 69, 1899, S. 626.

[2] A. SCHWENDT, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 49, 1900, S. 1.

[3] R. SCHULZE, Phil. Stud. Bd. 14, S. 471.

[4] ABRAHAM und BRÜHL, Zeitschr. f. Psychol. Bd. 18, 1898, S. 207 ff. R. BODE, Psychol. Stud. Bd. 2, 1907, S. 293 ff.

des Umstandes, daß die Tonqualitäten ein eindimensionales System bilden, eine analoge Bedeutung besitzt wie der entsprechende Schwellenbegriff für die Intensitätsänderungen (Bd. 1, S. 679). Zugleich bilden die Töne, wegen der Leichtigkeit, langsame Tonänderungen objektiv in genau meßbarer Weise herzustellen, ein verhältnismäßig günstiges Gebiet für diese Beobachtungen. L. W. STERN bediente sich bei denselben eines »Tonveränderungsapparates«, der aus einer in ihrem unteren Teil mit Quecksilber gefüllten und mit einem andern Gefäß durch eine Röhre verbundenen Flasche bestand. Diese gab, an ihrer Mündung durch einen aus einem Gebläse zugeführten Luftstrom angeblasen, den Ton. Die Röhre war außerdem unten mit einem mit Quecksilber gefüllten Druckzylinder verbunden, aus welchem dieses mittels einer Kurbelvorrichtung mit einer bestimmten, nach dem Metronom zu messenden Geschwindigkeit in die Gefäße gepreßt oder aus ihnen entleert werden konnte. Das größere kommunizierende Gefäß hatte dabei wesentlich den Zweck, die Geschwindigkeit des Steigens und Fallens der Flüssigkeit in der tönenden Flasche zu verlangsamen und zweckmäßig zu regulieren. Die Veränderungsdistanzen variierten in STERNS Versuchen zwischen $^1/_2$ und 2 Schwingungen, die Veränderungsdauern zwischen 2 und 4 Sekunden. Dabei ergab sich, daß innerhalb dieser Grenzen im ganzen die Unterscheidung kontinuierlicher Änderungen feiner war als die für diskontinuierliche, d. h. für zwei durch eine Pause getrennte Töne. Die Bestimmung einer eigentlichen Unterschiedsschwelle, d. h. derjenigen Geschwindigkeit, bei der eben die Tonänderung bemerkt wird, stößt übrigens hier, ebenso wie bei den Empfindungsintensitäten, auf Schwierigkeiten, die in dem Zusammenhang der Erscheinung mit den bei solchen kontinuierlichen Änderungen stets vorhandenen Aufmerksamkeitsschwankungen zusammenhängen. Infolge dieser später (in Abschn. V) zu erörternden Schwankungen läßt es sich nämlich kaum vermeiden, daß die Vergleichung doch auch hier zu einer solchen zwischen diskreten Empfindungen wird: man apperzipiert den Ton zuerst in einem gegebenen Moment, und dann nach einer Ruhepause schweifender Aufmerksamkeit in einem zweiten. Dabei ist es aber offenbar nicht eigentlich die Veränderung, die man wahrnimmt, sondern eine Zweiheit von Bewußtseinsinhalten, deren Unterschiede natürlich von der Geschwindigkeit der Veränderung und von der Fähigkeit diese aufzufassen, aber doch nicht von diesen Faktoren allein, sondern außerdem von den sehr verwickelten Bedingungen der Bewegung der Aufmerksamkeit abhängen. Wenn es nun auch schwerlich gelingt dieses letztere Moment zu eliminieren, und demnach eine eigentliche Schwellenbestimmung hier unmöglich sein dürfte, so versprechen doch vielleicht eben darum die Veränderungsversuche interessante Resultate in bezug auf diese bei ihnen nicht zu eliminierenden Aufmerksamkeitsvorgänge selbst[1].

c. Schwebungen und Kombinationstöne.

Wenn zwei einfache Töne von wenig verschiedener Schwingungszahl gleichzeitig erklingen, so beobachtet man Intermissionen des Klangs, deren Anzahl in der Zeiteinheit, wie man bei geringen Tonunterschieden unmittel-

[1] L. W. STERN, Psychologie der Veränderungsauffassung. 1898, S. 82, 187 ff. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 21, 1899, S. 360. Bd. 22, S. 1 ff.

bar subjektiv durch Zählung oder in weiten Grenzen objektiv durch Aufzeichnung der Schwingungen nachweisen kann, genau dem Unterschied der Schwingungszahlen beider Töne entspricht. Diese Intermissionen bezeichnet man nach ihrer Beschaffenheit bei kleinen Tonhöhenunterschieden als Schwebungen. Sie haben ihren physikalischen Ursprung in der Interferenz der Tonwellen, wie dies die Fig. 180 veranschaulicht. Da entgegengesetzte Bewegungen einander aufheben und gleich gerichtete Bewegungen sich verstärken, so müssen, wenn zwei Wellen im selben Luftraum enstehen, zu den Zeiten, wo ein Berg der einen Welle mit einem Tal der andern zusammenfällt (*m*), die Töne einander schwächen oder ganz auslöschen, und zu andern Zeiten, wo Berg mit Berg oder Tal mit Tal zusammentrifft (*a* und *b*), müssen beide Töne sich verstärken. Auch läßt die Fig. 180 leicht erkennen, daß, wenn in einer gegebenen Zeit die zwei Wellen um eine ganze Schwingung (eine aus Berg und Tal bestehende sogenannte Doppelschwingung) verschieden sind, auch die Verstärkung und die Schwächung des Klangs in der gleichen Zeit je einmal eintreten muß, und daß, wenn die Wellen längere Zeit nebeneinander herlaufen, die Zeitintervalle zwischen dem Maximum und dem Minimum der Klangstärke immer gleich groß bleiben.

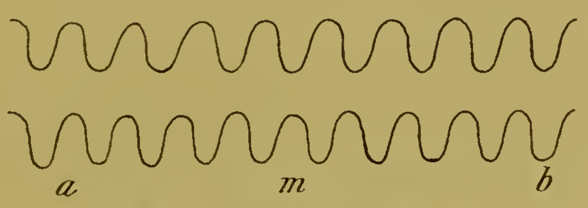


Fig. 180. Schwebende Töne.

Ist dieser physikalische Charakter der Schwebungen im wesentlichen der nämliche, ob die Zahl derselben groß oder klein ist, so bieten nun aber ihre psychologischen Eigenschaften je nach ihrer Geschwindigkeit bemerkenswerte Unterschiede dar. Man kann diese am deutlichsten verfolgen, wenn man zwei Stimmgabeln von gleicher Tonhöhe, deren eine durch Laufgewichte verstimmbar ist, wie in Fig. 176, anwendet. Geht man durch allmähliche Verschiebung der Laufgewichte vom Einklang aus zu wachsenden Verstimmungen über, so sind die Erscheinungen, die sich bei gleichzeitigem Erklingen der beiden Gabeln darbieten, teils intensiver teils qualitativer Art. Intensiv lassen sie sich in drei Hauptstadien sondern, die durch die Kurven in Fig. 181 veranschaulicht werden, vorausgesetzt, daß die beiden Töne von annähernd gleicher Intensität seien. In dem ersten Stadium (*A*), das den geringsten Unterschieden der Schwingungszahl entspricht, beobachtet man dann ein regelmäßiges, langsames An- und Abschwellen des Klanges, wobei in der Mitte zwischen je zwei Maximis die Tonintensität während einer kurzen Zeit auf null herabgeht, was in der Fig. 181 durch ein Sinken unter die Abszissenlinie angedeutet ist.

Dieses Stadium umfaßt die Phänomene der eigentlichen Schwebungen, unter denen man wesentlich dieses An- und Abschwellen versteht. Mit der Zunahme der Schwebungen geht dann die Erscheinung in das zweite Stadium (*B*) über, welches wir nach seinem subjektiven Charakter als das der Tonstöße bezeichnen wollen. Es ist dadurch charakterisiert, daß nur noch die Maxima und die Minima der Tonbewegung, jene als kurze Stöße, diese als ebensolche Pausen, bemerkbar sind. Hat die Tonbewegung die größte Geschwindigkeit erreicht, die hier möglich ist, so sind Tonstoß wie Pause vollkommen momentane Erscheinungen, und der Eindruck geht je nach der Tonlage in den eines rollenden, rasselnden oder schwirrenden

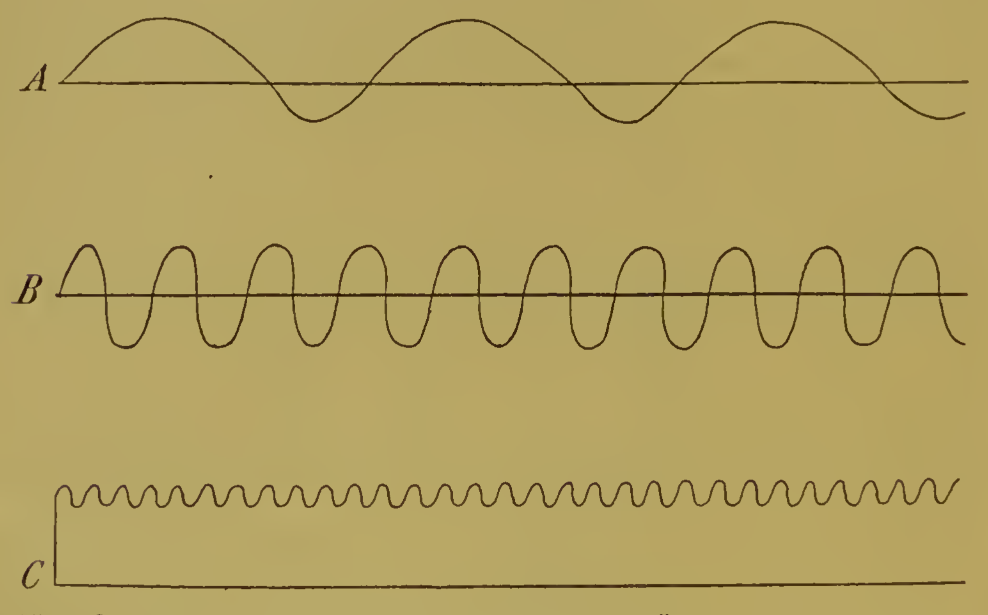


Fig. 181. Hauptstadien der Schwebungen nach den Änderungen der Tonstärke.

Geräusches über. Bei noch weiterer Steigerung der Schwingungsdifferenzen schließt sich endlich hieran das dritte Stadium (*C*). Es ist dadurch gekennzeichnet, daß die Pausen verschwinden, während die Tonstöße noch bemerkbar bleiben. Dadurch verlieren aber diese den Charakter wirklicher Stöße; sie erscheinen nur noch als überaus rasch aufeinander folgende Erzitterungen über einem kontinuierlich anhaltenden Klang: dies ist diejenige Form der Schwebungen, die man Rauhigkeit des Klangs zu bezeichnen pflegt. Die Grenzwerte der Schwebungen, bei denen diese verschiedenen Stadien ineinander übergehen, sind nun mit der Tonhöhe veränderlich, indem sie mit wachsender Tonhöhe nach aufwärts rücken. Doch scheint dies weniger für die zwei ersten als für das letzte Stadium zu gelten. Dabei wird zugleich diese Aufeinanderfolge durch zwei Erscheinungen in entgegengesetztem Sinne kompliziert. Erstens werden,

sobald die Tondistanzen in konsonante Intervalle übergehen, die Schwebungen bedeutend abgeschwächt oder verschwinden ganz. Da aber diese Intervalle bei um so kleineren Unterschieden der absoluten Schwingungszahlen eintreten, je tiefer die Töne sind, so ist das Schwebungsphänomen bei den tiefsten Tönen überhaupt nur bis zu dem Stadium der Tonstöße (*B*) zu verfolgen. Zweitens bilden sich, wie wir unten sehen werden, im allgemeinen bei einem Zusammenklang resultierende Töne, die Differenztöne, die selbst wieder teils untereinander teils mit den primären Tönen Schwebungen und Tonstöße sowie neue Differenztöne mit den gleichen Folgeerscheinungen erzeugen. Dadurch wird das Phänomen der Schwebungen ein ungemein verwickeltes, und da auch diese sekundären Schwebungen wieder bei den konsonanten Intervallen zurücktreten, so steigt infolge der zunehmenden Ausdehnung der zwischen den schwebungsfreien Punkten gelegenen Tonstrecken diese Verwickelung mit der Tonhöhe. Am schärfsten lassen sich daher die obigen Stadien da, wo sich diese verschiedenen Einflüsse einigermaßen kompensieren, also in einer mittleren Lage der musikalischen Skala, etwa von $c^1 = 256$ bis $c^2 = 512$ Schw., verfolgen. Dabei erreichen die Tonstöße ihr Maximum nahe bei 30 Schwebungen in der Sek., um dann in Rauhigkeit (Stadium *C*) überzugehen, die selbst wieder bei etwa 60 verschwindet, während freilich zugleich durch die oben erwähnten Schwebungen der Differenztöne sowie bei Klängen mit Obertönen durch die Schwebungen dieser miteinander und mit den primären Tönen sekundäre Tonstöße sich beimengen, welche die Beobachtung des Phänomens der primären Schwebungen bedeutend erschweren können. In manchen Fällen hat man darum auch gewisse Tonstöße ohne weiteres als Schwebungen von Obertönen gedeutet, die jedenfalls nur teilweise auf solche zu beziehen sind. Dies gilt besonders von den Tonstößen, die ein Ton mit seiner verstimmten Oktave erzeugt, und die an Zahl durchaus den Schwebungen seines ersten Obertons mit dieser verstimmten Oktave entsprechen. Da aber die gleichen Tonstöße auch noch bei vollkommen obertonfreien Klängen auftreten, so müssen schon die beiden primären Töne Schwebungen miteinander bilden. In der Tat erhellt die Möglichkeit dieser auch bei obertonfreien Klängen ohne weiteres, wenn man z. B. dem unteren Wellenzug *ab* in Fig. 180 eine doppelt so große Anzahl von Wellen gibt: dann trifft nämlich bei *m* zwar nicht das ganze Tal der oberen mit einem Berg der unteren Welle zusammen, aber es deckt sich doch die Mitte des ersteren mit einem solchen Berg. Diese Interferenzen werden dann freilich noch verstärkt, wenn außerdem ein Wellenzug von der doppelten Schwingungszahl der oberen Welle (der erste Oberton) hinzutritt.

Zugleich mit den oben geschilderten intensiven Veränderungen im

Verlaufe der Schwebungen treten nun stets auch qualitative Veränderungen auf, wodurch die ohnehin durch die Beziehungen zur Konsonanz und Dissonanz der Intervalle entstehenden Verwickelungen weiter kompliziert werden. Am einfachsten ist das Verhalten während des Stadiums der beginnenden Schwebungen (*A*). Hier wird die Interferenz überhaupt nur als ein intensives Schweben des Tones ohne merkbare Höhenänderung desselben gehört. Das ändert sich beim Übergang in das Stadium der Tonstöße (*B*). Auch jetzt hört man zunächst immer noch nur einen Ton. Indem aber bereits der Höhenunterschied ein merklicher wird, wirkt dieser Unterschied in dem Sinne, daß der gehörte Ton als eine mittlere Resultante aus dem höheren und dem tieferen Tone erscheint: man hört in Wahrheit keinen der primären Töne, sondern einen Zwischenton, der zuerst dem tieferen der Primärtöne näher liegt, dann allmählich in die Mitte und zuletzt in die Nähe des höheren Primärtones rückt. Bald tritt dann aber das Phänomen qualitativ in ein neues Stadium, indem neben dem stoßenden Zwischenton, dessen Tonhöhe immer unsicherer wird, die beiden Primärtöne hervortreten. Dies geschieht jedoch in wechselnder Weise, indem entweder nur der eine, oder nur der andere, oder beide nebeneinander hörbar werden. Auf diese Weise gestaltet sich nun das Schwebungsphänomen zu einer aus drei Bestandteilen zusammengesetzten Erscheinung. Man hört nämlich erstens ein dauerndes Geräusch, das allmählich aus dem ursprünglichen Zwischenton hervorgegangen ist, und das nicht mehr als Tonhöhe, sondern nur noch als ungefähre Tonlage aufgefaßt wird, indem es je nach der mittleren Tonhöhe derselben als rollendes, schnurrendes, klirrendes, schwirrendes Geräusch bezeichnet werden kann. Daneben hört man zweitens den tieferen, und drittens den höheren der beiden schwebenden Töne, aber beide intermittierend, so zwar, daß zuweilen nur einer von ihnen, zuweilen aber beide nebeneinander wahrzunehmen sind. Diese Intermissionen erfolgen jedoch in einer sehr viel langsameren Periode als die des begleitenden Geräusches. Zugleich nimmt diese Periode der Intermissionen bei wachsender Tondistanz ab, während die Stöße des dauernden Geräusches an Geschwindigkeit zunehmen (Stadium *C*). Endlich hört man neben dem Geräusch beide Töne dauernd, während jenes in den höheren Tonlagen in ein kontinuierliches zuletzt lauteres, dann leises Zischen übergeht. Indessen kann, nachdem auf diese Weise die Schwebungen verschwunden sind, noch abwechselnd nur der eine oder der andere der Töne neben dem Geräusch hervortreten. Man überzeugt sich aber leicht, daß diese Erscheinung nun nicht mehr von wirklichen Intermissionen der Töne, sondern von jenen Schwankungen der Aufmerksamkeit herrührt, die überall sich einstellen, wo sich eine Mehrheit von Eindrücken gleich-

zeitig zur Apperzeption drängt. (Vgl. Abschn. V.) Das die Töne begleitende Geräusch, dessen eigene Tonlage immer unbestimmter wird, während in ihm selbst die hörbaren Intermissionen verschwinden, wird schließlich nur noch als eine den nebeneinander erklingenden Tönen anhaftende Rauhigkeit oder Heiserkeit aufgefaßt, bis auch sie verschwindet und nur noch die beiden kontinuierlichen Tonempfindungen übrig läßt.

Mit den Erscheinungen der Schwebungen verbinden sich nun, wie schon bemerkt, in den meisten Fällen die der Kombinationstöne. Doch können diese auch ohne gleichzeitige Schwebungen auftreten, woraus sich schon ergibt, daß sie ein von ihnen unabhängiges Phänomen sind. Ihre Entstehung beruht zwar ebenfalls auf einer Interferenz der Schwingungen zusammenklingender Töne. Während aber bei den Schwebungen die Interferenz, gemäß der eigentlichen Bedeutung dieses Begriffs, in der wechselnden Verstärkung und Schwächung der Schwingungsbewegungen zum Ausdruck kommt, beruhen die Kombinationstöne auf resultierenden Tonbewegungen, die an die Interferenz von Tönen verschiedener Schwingungszahl gebunden sind. Hierbei setzt dann die Entstehung solcher resultierenden Tonbewegungen besondere Eigenschaften der schwingenden Gebilde voraus, daher nur unter bestimmten, eben durch diese Eigenschaften erzeugten Bedingungen Kombinationstöne entstehen, während sich die direkt auf den Interferenzerscheinungen beruhenden Schwebungen unter allen Umständen bilden, wo die zusammentreffenden Töne die geeigneten Unterschiede der Schwingungszahlen besitzen. Sind jedoch durch die Eigenschaften eines schwingenden Mediums, auf das verschiedene Töne gleichzeitig einwirken, jene Bedingungen zur Entstehung resultierender Wellen gegeben, so können diese nun in einer doppelten Form auftreten. Denken wir uns das schwingungsfähige Gebilde in Fig. 182 durch die Linie *ab* repräsentiert, so werden zwei Wellenzüge n_1 und n_2, die gleichzeitig auf dasselbe einwirken, an den Stellen, wo die durch Punkte angedeuteten Wellenberge zusammentreffen, als neue, resultierende Schwingungsimpulse wirken können; und da die Häufigkeit dieses Zusammentreffens dem Unterschied der Schwingungszahlen entspricht, so kann ein Ton entstehen, dessen Schwingungen der Differenz der Schwingungen der beiden Primärtöne gleichen. Man nennt hiernach diesen Ton, der auf der Linie *a b* durch die dickeren Punkte angedeutet ist, den Differenzton *D*. Kommen z. B. auf je 2 Schwingungen des einen Primärtons 3 des andern, so macht der Ton *D* in der gleichen Zeit eine Schwingung, d. h. er ist die tiefere Oktave des ersten Primärtons. Neben dieser ersten, weitaus wichtigsten Art der Kombinationstöne gibt es aber

noch eine zweite, die dadurch entstehen kann, daß die das Gebilde *a b* erregenden Wellen wegen ihrer verschiedenen Frequenz als selbständige Schwingungsimpulse auf *a b* einwirken. Infolgedessen können sie bei genügender Stärke, indem sich die durch die sämtlichen Punkte auf der Linie *a b* angedeuteten Schwingungsimpulse zu regelmäßig periodischen Schwingungen ordnen, wiederum eine resultierende Bewegung erzeugen, deren Schwingungszahl der Summe der Schwingungen der beiden Primärtöne n_1 und n_2 entspricht. Man nennt daher diesen hohen Kombinationston den Summationston S. Ist z. B. das Verhältnis der Töne $n_1 : n_2 = 2 : 3$, so ist $S = 5$, d. h. die Terz der höheren Oktave des Tones n_1. Diese von HELMHOLTZ entdeckten Summationstöne sind jedoch nur ausnahmsweise wahrzunehmen, und sie sind durchweg viel schwächer als die Differenztöne[1]. Auch fallen sie bei zusammengesetzten Klängen häufig mit andern Klangbestandteilen, namentlich mit Differenztönen der Obertöne

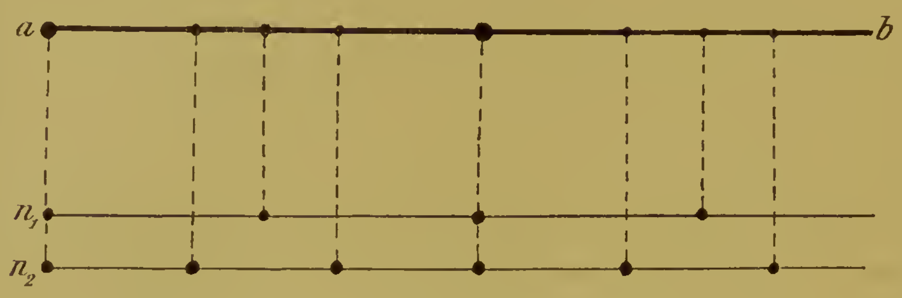


Fig. 182. Schema der Entstehung von Kombinationstönen.

zusammen. Wir können sie daher, als Phänomene von ausschließlich physikalischem Interesse, die bei den psychologischen Eigenschaften der Klänge keine nennenswerte Rolle spielen, im folgenden außer Betracht lassen.

Um so wichtigere Empfindungsbestandteile sind die Differenztöne, teils weil sie meist sehr deutlich wahrnehmbare Elemente des Zusammenklangs bilden, teils weil sie durch die Wirkungen, die sie auf die primären Töne und aufeinander ausüben, zu neuen Differenztönen Anlaß geben und so einen relativ einfachen Zusammenklang in eine sehr zusammengesetzte Tonmasse umwandeln können. Physikalisch kann der Entstehungsort der Differenztöne ein doppelter sein: entweder, wenn auch freilich nur ausnahmsweise, ist das schwingungsfähige Medium ein Luftraum außerhalb des Ohres; oder dasselbe besteht in irgend welchen Teilen des Gehörapparates selbst. Danach unterscheidet man objektive und subjektive

---

[1] HELMHOLTZ, POGGENDORFFS Annalen der Physik, Bd. 99, S. 497 ff. Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 258 ff.

Differenztöne[1]. Objektive Differenztöne entstehen, so viel bis jetzt nachgewiesen ist, in merklichem Grade nur dann, wenn die primären Töne in einem und demselben Luftraum erzeugt werden, wenn man z. B. an einer sogenannten Doppelsirene durch zwei Löcherreihen von verschiedener Anzahl die Luft in den Luftraum der Sirene eindringen läßt; ebenso beobachtet man solche an dem Harmonium oder an den APPUNNschen Tonmessern (Fig. 179, S. 92), während sie an der Orgel trotz der großen Stärke der Klänge fehlen, da diese hier in voneinander unabhängigen Lufträumen entstehen. Die objektiven Differenztöne sind stets daran erkennbar, daß sie durch Resonatoren (Fig. 178), die auf sie abgestimmt sind, verstärkt werden, während diese auf die erst im Ohr entstehenden Töne natürlich keinen Einfluß ausüben[2]. Viel wichtiger als diese objektiven sind aber die subjektiven Differenztöne, die nicht nur zu den objektiven hinzutreten, wo die Bedingungen zu diesen ausnahmsweise vorhanden sind, sondern die sich auch bei allen andern gleichzeitig auf das Ohr einwirkenden Tönen von verschiedener Schwingungszahl in demselben bilden können. Ihr Entstehungsort im Ohr ist noch zweifelhaft; und da die Frage nach demselben für die Theorie der Gehörsempfindungen von großer Bedeutung ist, so werden wir auf sie erst unten näher eingehen (f). Hier soll daher nur die Beschaffenheit der Differenztöne geschildert werden, wie sie sich in der unmittelbaren Beobachtung der Tonempfindungen, und zwar zunächst unter der einfachsten Bedingung, beim Zusammenklingen einfacher Töne, zu erkennen gibt. Wendet man zusammengesetzte Einzelklänge an, so werden durch die Obertöne, die selbst wieder Schwebungen und Kombinationstöne erzeugen können, die Erscheinungen wesentlich komplizierter.

Seinen oben erörterten Entstehungsbedingungen gemäß ist nun das Phänomen der Differenztöne ein mit der Tondistanz der Primärtöne veränderliches, das intensive wie qualitative Unterschiede darbietet, unter denen die letzteren in diesem Fall die am meisten hervortretenden sind, während außerdem das Auftreten von Differenztönen verschiedener Ordnung, das sich je nach der Intervallgröße der primären Töne verschieden verhält, eine wechselnde Rolle spielt. Verstimmt man nämlich vom Einklang ausgehend das Intervall zweier Töne allmählich mehr und mehr, so tritt ein tiefer Differenzton auf, sobald der Unterschied der Schwingungszahlen die Grenze der unteren hörbaren Töne merklich überschritten hat: der Differenzton erster Ordnung; man bezeichnet ihn mit D_1. Seine

[1] K. L. SCHÄFER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 78, 1900, S. 505 ff.

[2] Auch durch leicht erregbare Stimmgabeln, die in Mitschwingungen geraten, lassen sich solche objektive Differenztöne mit großer Sicherheit nachweisen (RÜCKER and EDSER, Phil. Mag., vol. 39, 1895, p. 341).

Schwingungszahl ist $n_2 - n_1$, wenn n_1 und n_2 die Schwingungszahlen der beiden primären Töne sind. Dieser erste Differenzton bildet aber mit dem ersten Primärton zusammen einen zweiten Differenzton D_2, der je nach dem Intervall $= \pm (n_1 - D_1)$ ist. Dazu kann dann noch kommen ein Differenzton 3. Ordnung $D_3 = \pm (D_2 - D_1)$, ferner ein solcher 4. Ordnung $D_4 = \pm (D_3 - D_1)$ oder $\pm (D_2 - D_3)$, mit dem nun in der Regel die Grenze der Hörbarkeit erreicht ist. Diese Differenztöne höherer Ordnung besitzen, wie man sieht, bei kleinen Intervallen durchweg größere Schwingungszahlen als der erste D_1, und sie pflegen darum hier schon hervorzutreten, wo dieser selbst noch gar nicht hörbar ist. Dieser Ordnung liegt das Prinzip zugrunde, daß jeweils ein Differenzton nächsthöherer Ordnung aus der Kombination der schon vorhandenen Teiltöne kleinster Schwingungszahl entspringt. So ist, wenn n_1 und n_2 Töne von 256 und 268 Schw. sind, $D_1 = 12$ natürlich nicht als Ton, sondern nur in der Form von Schwebungen hörbar; aber $D_2 = 256 - 12 = 244$, $D_3 = D_2 - D_1 = 232$ und $D_4 = D_3 - D_1 = 220$ Schw. können, sofern sie nur stark genug sind, gehört werden. Freilich sind sie, wenn, wie in diesem Beispiel, die verschiedenen Töne sehr nahe zusammenfallen, und wenn sich außerdem noch Schwebungen und Zwischentöne bilden, unter Umständen schwer zu unterscheiden. Überdies bilden bei allen Differenztönen mit Ausnahme des ersten gewisse harmonische Intervalle Wendepunkte, bei denen der Differenzton verschwindet, um dann mit einer Umkehrung der seitherigen Schwingungsdifferenz bei weiterer Verstimmung wieder einzusetzen. Beim zweiten Differenzton D_2 bildet die Oktave diesen Wendepunkt. Denn indem bei der Oktave $D_1 = 2n_1 - n_1 = n_1$ mit dem ersten Primärton zusammenfällt, verschwindet $D_2 = n_1 - D_1$, um nun jenseits dieses Punktes mit umgekehrtem Vorzeichen, als $D_2 = D_1 - n_1 = n_2 - 2n_1$, wieder zu erscheinen. Ähnlich bildet innerhalb der Oktave die Quinte einen Wendepunkt für den dritten Differenzton, indem diesseits derselben $D_3 = D_2 - D_1$, jenseits $= D_1 - D_2$ und beim Intervall der Quinte selbst $= 0$ wird, da $D_2 - D_1 = 3n_1 - 2n_2$ für das Intervall $n_1 : n_2 = 2 : 3$ verschwindet. Der vierte Differenzton endlich verschwindet nicht bloß bei der Quarte, sondern auch bei der großen Sext und fällt bei der Quinte mit D_1 und D_2 zusammen. Bis zur Quarte ist $D_4 = D_3 - D_1 = 4n_1 - 3n_2$, von da zur Quinte $= D_1 - D_3 = 3n_2 - 4n_1$, von hier zur großen Sext $= D_2 - D_3 = 5n_1 - 3n_2$, und von ihr zur Oktave $= D_3 - D_2 = 3n_2 - 5n_1$. Hieraus erhellt, daß die einfachen harmonischen Intervalle eine ähnliche Stellung zu den Differenztönen einnehmen wie zu den Schwebungen: sie sind ebensowohl relativ arm an Differenztönen, wie frei von Schwebungen. Dazu kommt dann aber noch der weitere diese Intervalle auszeichnende Charakter, daß, je einfacher sie sind, um so mehr die

übrig bleibenden Differenztöne selbst wieder in einem einfachen Verhältnis zu den primären Tönen stehen. So verschwinden bei der Oktave alle Differenztöne, bei der Quinte bleiben D_1 und D_2 bestehen, aber beide fallen zusammen und stehen zu den primären Tönen in dem Verhältnis 1 : 2 : 3. Bei der Quarte kommt neben D_1 und D_2 auch noch D_3 zur Geltung, fällt aber wieder mit D_1 zusammen, und alle diese Differenztöne bilden also mit den primären die Reihe 1 : 2 : 3 : 4, usw. Auf diesem Zusammenfallen mehrerer Differenztöne beruht es, daß bei den harmonischen Intervallen innerhalb der Oktave die Differenztöne besonders stark sind. Im allgemeinen sind aber die Differenztöne ähnlich zurücktretende Klangbestandteile wie die Obertöne der Einzelklänge, und zugleich pflegt ihre Intensität mit ihrer Ordnungszahl abzunehmen, so daß die Töne höherer Ordnung meist nur schwer wahrnehmbar sind und nur dann sich merklicher geltend machen, wenn sie sich durch ihre Koinzidenz verstärken. Sind die Primärklänge selbst nicht einfache Töne, sondern enthalten sie Obertöne, so treten nun aber weiterhin zu den primären Differenztönen verschiedener Ordnung noch sekundäre hinzu, wobei wir mit diesem Namen solche bezeichnen wollen, die die Obertöne teils miteinander teils mit den primären Differenztönen bilden, und die nun natürlich ebenfalls wieder von verschiedener Ordnung sein können. Dadurch wird jeder Zusammenklang ein überaus verwickeltes Gebilde, wobei sich übrigens auch hier die Verhältnisse dadurch etwas vereinfachen, daß einzelne dieser Teiltöne zusammenfallen, und daß andere zu schwach sind, um einen bemerkbaren Einfluß auf den Klangcharakter auszuüben. So fällt z. B. der primäre Differenzton, der beim Zusammenklang eines Tones mit einem seiner Oktave naheliegenden Tone entsteht, vollständig mit dem sekundären Differenztone zusammen, den der erste Oberton jenes ersten Tons mit dieser Oktave bildet, und ähnlich koinzidieren auch sonst die primären durchweg mit sekundären Differenztönen. Meist hat man darum überhaupt den ersten Differenzton D_1 für den einzigen primären gehalten, und auch diesen nur bei den Intervallen innerhalb der Oktave. Da aber D_2, D_3, D_4 und nicht minder D_1 für Intervalle jenseits der Oktave unter günstigen Umständen noch bei vollkommen obertonfreien Klängen beobachtet werden, so ist diese Zurückführung aller Differenztöne höherer Ordnung und größerer Intervalle auf Obertöne nicht haltbar. Auch sieht man leicht, daß, wenn man z. B. in der Fig. 182 (S. 104) die Anzahl der Wellenberge von $n_2 = 8$ nimmt, dadurch eine resultierende Bewegung $D = 4$ entsteht, die demnach mit dem ersten Primärton zusammenfällt, wogegen sich bei der verstimmten Oktave ein Differenzton bildet, und gleichzeitig Schwebungen mit dem tieferen Ton eintreten. In den Verhältnissen, welche so die Zusammenklänge je nach den Intervallen und der Zusammen-

setzung der Primärtöne darbieten, sind aber alle wesentlichen Eigenschaften der musikalischen Klänge und Klangverbindungen begründet, die uns, weil sie dem Gebiet der Vorstellungsbildung angehören, erst im nächsten Abschnitte beschäftigen werden. Hier waren die Entstehungsbedingungen sowie die Eigenschaften der Schwebungen und der Kombinationstöne nur insoweit zu erörtern, als diese selbst zu den Elementen der Klangvorstellungen gehören[1].

Für die Untersuchung der Schwebungen und Kombinationstöne ist es, um der Vereinfachung der Bedingungen willen, unter denen diese ohnehin verwickelten Erscheinungen stehen, von besonderer Wichtigkeit, daß man sich möglichst einfacher, d. h. obertonfreier Klänge bediene. Zu diesem Zweck müssen schon die mit Resonanzräumen verbundenen Stimmgabeln eine möglichst günstige Form besitzen. Gleichmäßig dicke, kürzere Gabeln sind daher, obgleich sie kürzer nachklingen, günstiger als schlanke, lange nachklingende, bei denen sich leichter Knotenpunkte bilden, und die nicht selten den ersten Oberton noch sehr deutlich mitklingen lassen. Um aber jede Spur eines Obertons zu beseitigen, kann man überdies einen Interferenzapparat anwenden, der es gestattet, einen bestimmten Teilton eines Klangs oder auch mehrere Teiltöne durch die Interferenz entgegengesetzter Schwingungsphasen desselben Tones auszulöschen. Man kann zu diesem Zweck entweder den Klang durch zwei Zweigleitungen führen, die um eine halbe Wellenlänge des auszulöschenden Tones verschieden sind und an ihren Enden wieder zusammenmünden (QUINCKES Interferenzapparat); oder man kann an eine Hauptröhre, durch die der Klang geleitet wird, in angemessenen Abständen senkrechte Seitenröhren ansetzen, die oben durch einen verschiebbaren Kolben verschlossen sind, und deren Länge ein Viertel der Wellenlänge des auszulöschenden Tones beträgt, so daß die in das Hauptrohr zurückkehrende reflektierte Welle wieder einen Unterschied von einer halben Wellenlänge besitzt (NÖRREMBERGS Interferenzapparat). Im letzteren Fall ist zwar die Verminderung der Tonstärke wegen der Schwächung durch die Reflexion eine minder vollkommene. Da sich aber die Ansatzröhren in beliebiger Zahl anbringen lassen, so ist schließlich doch eine vollkommenere Auslöschung des Tones möglich als bei den Interferenzapparaten der ersten Art. Die Fig. 183 stellt eine solche Versuchsanordnung dar, bei der die Einrichtungen derart getroffen sind, daß zwei Stimmgabelklänge verglichen werden können, von denen nur der eine auf die Auslöschung eines bestimmten Teiltones eingestellt ist, während der andere unverändert dem Ohr des Beobachters zugeleitet werden kann. Der letztere befindet sich in einem entfernten Raum, der durch ein in der Fig. 183 in den beiden Mauerzeichnungen rechts angedeutetes, für Schall undurchlässiges »Stillezimmer« von dem Experimentierraum getrennt ist[2].

---

[1] F. KRUEGER, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 323, 573. Bd. 17, 1901, S. 185 ff.

[2] Vgl. die nähere Beschreibung bei FELIX KRUEGER, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 311 ff. Eines ähnlichen Interferenzapparates hat sich schon SAUBERSCHWARZ unter GRÜTZNERS Leitung zur Analyse der Vokalklänge bedient (PFLÜGERS Archiv, Bd. 61, 1895, S. 1 ff.). Einen Interferenzapparat der ersten Art (nach QUINCKE) benützte M. MEYER, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 11, 1896, S. 190.

Das Phänomen der Schwebungen hat, seit so langer Zeit es auch die Aufmerksamkeit der Musiker und Physiker auf sich lenkte, doch in bezug auf seine subjektive Seite bis in neuere Zeit nur eine geringe Beachtung gefunden. Man begnügte sich in der Regel mit der allgemeinen Ableitung aus der Interferenz, ohne den psychologischen Eigentümlichkeiten der Erscheinungen, die man mit der Bezeichnung von »Störungen des Zusammenklangs« abtat, näher nachzugehen. Eingehendere Beschreibungen des Phänomens haben, außer HELMHOLTZ[1], namentlich S. TAYLOR[2], BOSANQUET[3], STUMPF[4] und FELIX KRUEGER[5] gegeben. HELMHOLTZ erkannte den Zwischenton, den er jedoch zuerst als einen im Wechsel mit den primären Tönen auftretenden, dann als einen hin- und herschwankenden Ton auffaßte. BOSANQUET beobachtete, daß bei einer geringeren Anzahl von Stößen der einzige hörbare Ton dieser Zwischenton ist, und daß auf ihm, der im übrigen bei einem bestimmten Intervall in

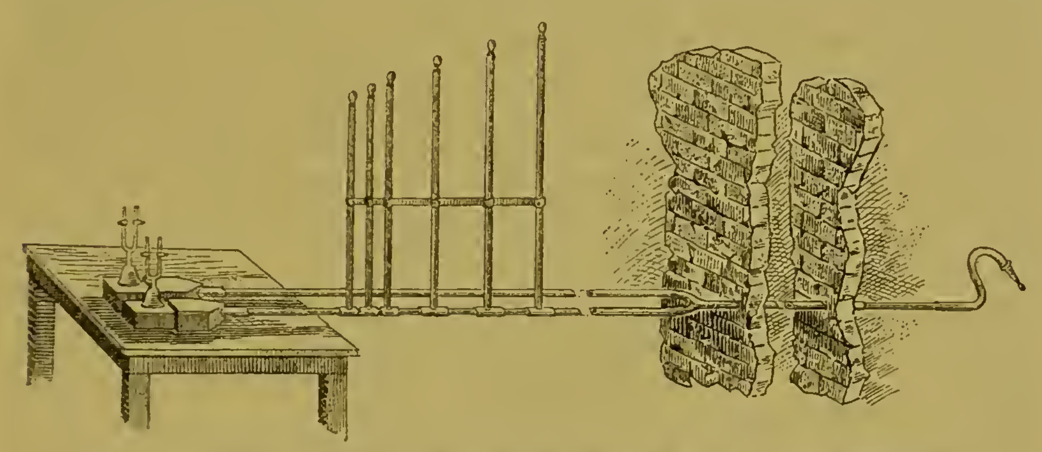


Fig. 183. Interferenzapparat zur Auslöschung von Teiltönen eines Klangs.

seiner Höhe konstant bleibt, die Schwebungen ruhen, während erst bei weiterer Zunahme der Tonstöße dazu die primären Töne hinzutreten und ihn dann verdrängen. Im wesentlichen stimmen damit auch die Beschreibungen von STUMPF und KRUEGER überein. Was die Beobachtung der Phänomene in hohem Grade erschwert und darum auch manche widersprechende Angaben erklärt, ist die relativ feste Verbindung aller der Ton- und Geräuschempfindungen, die, sobald die rascheren Tonstöße beginnen, das Schwebungsphänomen begleiten, zu einer einheitlichen Vorstellung, sowie in den späteren Stadien die Gefahr, ein bloßes Wandern der Aufmerksamkeit zwischen den verschiedenen Bestandteilen mit Veränderungen dieser Bestandteile selbst zu verwechseln. Es scheint mir namentlich, daß jene Verbindung die Beobachter oft veranlaßt hat, die Intermissionen des allmählich aus dem Zwischenton hervorgehenden Geräusches auf die nun hinzutretenden primären Töne zu

[1] HELMHOLTZ, Lehre von den Tonempfindungen[2], S. 247. [4]S. 274.
[2] TAYLOR, Phil. Mag. (4) vol. 44, 1872, p. 56.
[3] BOSANQUET, Phil. Mag. (5) vol. 11, 1881, p. 420.
[4] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 449 ff.
[5] F. KRUEGER, a. a. O. S. 335 ff. Über die hier sich anschließenden Arbeiten zum Problem der Konsonanz vgl. unten Kap. XII, 3.

übertragen, die in Wirklichkeit viel langsamere und bei noch größerer Distanz gar keine Intermissionen mehr zeigen, sondern solche nur noch durch die Schwankungen der Aufmerksamkeit vortäuschen. Man überzeugt sich von diesen Verhältnissen am besten, wenn man zuerst nur den einen Ton angibt, dann den zweiten hinzutreten läßt und nun jenen in dem entstehenden Ton- und Geräuschkomplex mit der Aufmerksamkeit festzuhalten sucht. Noch weniger als die qualitativen haben im allgemeinen die intensiven Unterschiede des Schwebungsphänomens in seinen verschiedenen Stadien die zureichende Beachtung gefunden, indem man meistens die eigentlichen Schwebungen, die Tonstöße und die Rauhigkeit des Klangs kaum auseinanderhielt und wohl auch die Schwebungen der entstehenden Differenztöne nicht immer von denen der primären Töne schied, so daß die Wahrnehmung einzelner Intermissionen, die von diesen herrührten, auf den primären Zusammenklang bezogen wurde. Nur hierdurch erklären sich wohl so exorbitante Angaben wie die von STUMPF, daß man sogar noch über die Zahl von 400 in der Sekunde in den höheren Tonlagen Schwebungen wahrnehmen könne[1]. Schon das Gebiet der Rauhigkeitsempfindung läßt keinerlei deutliche Intermissionen mehr erkennen, und man vermag darum hier eine kleinere Beschleunigung oder Verlangsamung der Schwebungen nicht mehr zu unterscheiden. Die eigentliche Rauhigkeit läßt sich am ehesten mit der Empfindung vergleichen, die der Tastsinn vermittelt, wenn man eine rauhe Fläche berührt, bei der die Ungleichheitspunkte weit unter der Tastschwelle liegen, z. B. eine Mattglasplatte. Gerade so wenig wie man hier noch Raumdistanzen zwischen den einzelnen Punkten der Platte wahrnimmt, gerade so wenig ist jene ebenmäßige Rauhigkeit eine intermittierende Empfindung. Ich verhalte mich demnach allen Behauptungen gegenüber, nach denen noch weit über 60 Schwebungen als solche wahrnehmbar sein sollen, skeptisch. Ich glaube, daß sie teils auf mangelhafter psychologischer Unterscheidung der verschiedenen Stadien des Schwebungsphänomens teils auf der Vermengung mit den Schwebungen von Differenztönen beruhen.

Ähnlichen Schwierigkeiten wie die genaue Verfolgung der Schwebungen zweier einfacher Töne begegnet der Versuch, die Grenze hörbarer Intermittenzen dadurch zu bestimmen, daß man einen einzigen kontinuierlich andauernden Ton in regelmäßig aufeinander folgenden Pausen unterbricht und auf diese Weise das Schwebungsphänomen in seinen verschiedenen Stadien an einem einzigen Ton hervorbringt. Solche Schwebungen eines Einzeltones lassen sich nach R. KÖNIG, A. M. MAYER[2] und URBANTSCHITSCH erzeugen, wenn man eine Stimmgabel in der in Fig. 177 angegebenen Weise vor einem Resonator schwingen läßt, während zugleich zwischen Stimmgabel und Resonator eine mit Löchern versehene Scheibe mit gleichmäßiger Geschwindigkeit rotiert. Leitet man dann einem entfernten Ohr durch einen Kautschukschlauch die durch die Scheibe unterbrochenen Tonwellen zu, so nimmt dieses Ohr Tonstöße wahr, die mit wachsender Geschwindigkeit der Scheibe immer schneller werden und zuletzt sich zu einem kontinuierlichen Eindruck verbinden. Zugleich kann bei geeigneter Geschwindigkeit ein der Zahl der Stöße entsprechen-

---

[1] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 461.

[2] R. KÖNIG, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 157, 1876, S. 228. Quelques expériences d'acoustique. 1882, p. 140. A. M. MAYER, Amer. Journal of sciences, 3, vol. 8. 1874, p. 241. vol. 47, 1894, p. 3. URBANTSCHITSCH, PFLÜGERS Archiv, Bd. 25, 1881, S. 328 ff.

der Ton entstehen. Diesen bezeichnete R. König als »Unterbrechungston«, indem er annahm, daß er direkt durch die Intermissionen der Schallerregung verursacht sei. Doch kommt hier in Betracht, daß ein solcher Unterbrechungston keineswegs immer, sondern nur unter der Bedingung entsteht, daß die Zahl der Unterbrechungen gleich der Schwingungszahl des primären Tones oder ein Vielfaches derselben ist, und daß sich, wie K. L. Schäfer und O. Abraham nachwiesen, außerdem mit dem Unterbrechungston Differenztöne verbinden, die der Differenz der Schwingungen zwischen ihm und dem primären Ton entsprechen, und an die sich dann noch Differenztöne höherer Ordnung anschließen können. Auch zeigten Schäfer und Abraham die objektive Existenz der Unterbrechungstöne dadurch, daß sie Resonatoren, die auf sie abgestimmt sind, zum Mitschwingen anregen, was natürlich nicht sein könnte, wenn sie erst im Ohr entstünden[1]. Hiernach stellen die Unterbrechungstöne überhaupt ein komplexes Phänomen dar, das in den objektiven Superpositionen der Tonschwingungen bei Schwankungen des Tones seine Quelle hat. Sie können aber schon deshalb, weil sie objektiven Ursprungs sind, nicht zu Folgerungen für die Theorie der Tonempfindungen verwendet werden[2].

Lassen nun die Versuche mit Unterbrechungen eines Tones infolge der hierbei eintretenden Verwickelungen die Grenze, bei der intermittierende in kontinuierliche Tonempfindungen übergehen, nicht mit Sicherheit erkennen, so sind sie nun aber, im Hinblick auf den allgemeinen Verlauf der Schwebungskurven (Fig. 181), der für solche intermittierende Einzeltöne ebenfalls zutrifft, ebensowenig geeignet, das Abklingen einer Tonerregung zu verfolgen. Da vielmehr bei den schnellsten Unterbrechungen der Ton niemals ganz auf Null herabsinkt, so fällt der letzte Teil der Abklingungsperiode eines einzelnen Tonstoßes immer noch in die Zeit des Anklingens eines folgenden. Doch kann man nach den obigen Zahlen vermuten, daß die tiefen Töne der absoluten Zeit nach langsamer, und relativ, nämlich im Verhältnis zu ihren Schwingungszahlen, schneller abklingen als die hohen. Abweichend von den Unterbrechungen eines einzelnen Tones verhalten sich übrigens rasche Aufeinanderfolgen mehrerer Töne, wie sie beim Trillern oder in musikalischen Passagen vorkommen. In diesem Fall wird man die Entstehung von Interferenzerscheinungen als ausgeschlossen ansehen dürfen. Anderseits erschwert aber der Wechsel verschiedener Töne an und für sich die Auffassung derselben im Vergleich mit dem Intensitätswechsel eines einzigen Tones. Dem entsprechend fanden O. Abraham und K. L. Schäfer, als sie an einer rotierenden Scheibe mit abwechselnder und auf verschiedene Töne eingestellter Löcherreihe Triller hervorbrachten, die Trillerschwelle in allen musikalisch verwendeten Oktaven annähernd gleich groß, nämlich = 0,03—0,04 Sek., was etwa 30 einzelnen Tonstößen in der Sek. entsprechen würde. Dieselbe Zahl ergab sich auch bei musikalischen Figuren.

[1] Schäfer und Abraham, Pflügers Archiv, Bd. 83, 1901, S. 207. Bd. 85, S. 536. Bd. 88, S. 475.

[2] F. A. Schulze (Annal. der Physik, n. F. Bd. 26, 1908, S. 217 ff.) hat bemerkt, daß neben den Tönen der Reihe p, $p - u$, $p - 2u$, $p - 3u$ .... (wo p den Primärton, u die Zahl der Unterbrechungen bedeutet) zuweilen auch solche aus der Reihe p, $p + u$, $p + 2u$ .... vorkommen, und daß schon Helmholtz beide beobachtet und unter dem Namen »Variationstöne« zusammengefaßt hat.

Sank die Dauer des Einzeltones unter jene Schwelle, so wurde ein rauher Zusammenklang gehört[1]. Jene Zeit fällt hiernach ungefähr mit derjenigen zusammen, bei der die Tonstöße der Schwebungen eben noch wahrnehmbare leere Tonpausen erkennen lassen.

Außer den bisher erwähnten Verfahrungsweisen zur Erzeugung intermittierender Tonempfindungen läßt sich schließlich auch noch die Einwirkung von Tönen verschiedener Schwingungszahl auf die beiden Ohren unter Bedingungen anwenden, unter denen die Luftleitung der Töne vom einen Ohr zum andern ausgeschlossen ist. Es entsteht dann das Phänomen der sogenannten binauralen Schwebungen. Obgleich sich nun aber, falls man hinreichend schwache Töne anwendet, eine Luftübertragung leicht vermeiden läßt, so bleibt doch die Möglichkeit, daß auch hier jedes Ohr durch beide Töne erregt wird, weil immer noch eine Leitung des Schalls durch die Schädelknochen stattfinden kann. In der Tat stehen sich daher in der Interpretation dieser viel untersuchten Erscheinung zwei Annahmen gegenüber. Nach der einen sollen die Schwebungen ausschließlich durch Knochenleitung zustande kommen, also von dem gewöhnlichen monauralen Schwebungsphänomen nicht wesentlich verschieden sein. Nach der andern sollen sie auch dann noch entstehen, wenn keine Knochenleitung stattfindet, so daß nur ein zentraler Ursprung derselben möglich ist[2]. Nun ist es wohl nicht zu bezweifeln, daß in den früheren Versuchen nicht selten der Fehler begangen wurde, die Knochenleitung schon dann als ausgeschlossen anzunehmen, wenn eine solche durch die äußeren Schädelknochen (Schläfe, Scheitel, Hinterhauptsbein) unwahrscheinlich war, während sie doch noch, wie besonders Schäfer hervorhob und durch Versuche nachwies, durch die inneren Schädelknochen (Gehörknöchelchen, Schädelbasis, Felsenbein) stattfinden kann. Im allgemeinen schloß daher dieser Beobachter, sobald die Schwebungen im Innern des Kopfes lokalisiert würden, sei dies als ein Zeichen ihrer Entstehung durch Knochenleitung anzusehen. Dabei stützte er sich auf die Tatsache, daß der Ort der Schwebungen wandert, wenn die relative Intensität der beiden Töne wechselt: die Schwebungen nähern sich nämlich stets der Seite des stärkeren Tones und rücken bei gleicher Tonstärke in die Mitte des Kopfes. Doch ist dies freilich kein sicheres Kriterium, da wir auch einen nur einem Ohr zu-

---

[1] O. Abraham und K. L. Schäfer, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 20, 1901. S. 408.

[2] Dove hat zuerst das Phänomen untersucht (Repertorium der Physik, Bd. 3, 1839, S. 494). Weiterhin beschäftigten sich damit, ohne zu sichern Ergebnissen zu gelangen, S. P. Thompson (Philos. Mag. vol. 4, 1877, p. 274. vol. 6, 1878, p. 383), Cross und Goodwin (Proc. of the Amer. Acad. vol. 27, 1891, p. 10), E. W. Scripture (Philos. Stud. Bd. 7, 1892, S. 631. Bd. 8, 1893, S. 638), Ewald (Pflügers Archiv, Bd. 57, 1894, S. 80). Für die Entstehung durch Knochenleitung traten ein Seebeck (Poggendorffs Annalen, Bd. 68, 1846, S. 449), Mach (Sitzungsber. der Wiener Akad. Math.-naturw. Kl. Bd. 50, 2, 1864, S. 342), Stumpf (Tonpsychologie, Bd. 2, S. 208), und besonders K. L. Schäfer (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 2, 1891, S. 111. Bd. 4, 1892, S. 348. Bd. 5, 1893, S. 397. Pflügers Archiv, Bd. 61, 1895, S. 544), endlich P. Rostosky, der auch die Geschichte des Problems eingehend behandelt hat (Philos. Stud. Bd. 19, S. 557 ff.). In einem nahen Zusammenhang mit dieser Frage steht die andere, ob schwache Töne von gleicher Höhe binaural gehört sich verstärken, und ob diese Verstärkung ebenfalls zentral, wie Urbantschitsch (Pflügers Archiv, Bd. 31, 1883, S. 280) und Bloch (Zeitschrift für Ohrenheilkunde, Bd. 24, 1893. S. 25) annehmen, oder, wie Schäfer und Rostosky vermuten, durch Knochenleitung zu erklären sei.

geleiteten schwachen Ton, wenn wir ihn aufmerksam beobachten, wahrscheinlich infolge der später (Abschn. V) zu besprechenden, in den äußeren Schädelmuskeln entstehenden Spannungsempfindungen der Aufmerksamkeit, in der Mitte des Kopfes lokalisieren. Es liegt nun nahe, die Frage dadurch entscheiden zu wollen, daß man die den beiden Ohren zugeleiteten Töne so weit abschwächt, daß jeder zwar von dem Ohr seiner Seite noch eben gehört wird, daß aber eine Knochenleitung zum andern Ohr nicht mehr stattfindet. Da die Knochenleitung immerhin aller Wahrscheinlichkeit nach bei einem normalen Gehörorgan weniger leicht anspricht als die direkte durch das Trommelfell zum Labyrinth der gleichen Seite, so wird man annehmen dürfen, daß dieser Punkt erreicht ist, wenn sich der Ton für das gleichseitige Ohr nur eben über der Schwelle befindet. Bei den nach diesem Gesichtspunkt von G. Melati im »Stillezimmer« ausgeführten Versuchen, bei denen rechts und links aus anstoßenden Räumen die Töne durch geradlinig geführte Röhren den beiden Ohren zugeführt wurden, zeigte es sich aber, daß sich, sobald man der Schwelle nahe kommt, ein anderes Phänomen einmengt, welches die Entscheidung unmöglich macht. Dasselbe besteht in der Entstehung der später (Abschn. V) zu erörternden Schwankungen der Aufmerksamkeit, vermöge deren gerade bei der Reizschwelle fortwährend die Eindrücke bald über, bald unter die Schwelle treten. Da diese Schwankungen im allgemeinen ebenfalls ein regelmäßig periodisches Phänomen sind, so täuschen sie, auch wenn nur ein einziger Ton einwirkt, Schwebungen vor, die aber eine ganz wechselnde, und bei der Anwendung von zwei Tönen eine von deren Schwingungsdifferenz unabhängige Periode besitzen. Schließlich bleiben so nur noch zwei Erscheinungen übrig, die möglicherweise auf eine zentrale Entstehung binauraler Schwebungen hinweisen könnten. Die eine besteht darin, daß mehrere zuverlässige Beobachter, wie Thompson und Melati, die Entstehung von Schwebungen zwischen einem subjektiven (infolge einer katarrhalischen Affektion im Mittelohr entstandenen) Ton der einen und einem objektiven Ton der andern Seite wahrnahmen[1]. Anderseits freilich konnte Stumpf, der längere Zeit sowohl einen subjektiven Dauerton wie variable Töne in seinem einen Ohr sowie zeitweise Unterschiede in der Höhenempfindung der Töne mit beiden Ohren, sogenannte »Diplakusis«, beobachtete, niemals Schwebungen konstatieren[2]. Vielleicht sind weitere Beobachtungen solcher Fälle von seiten der Ohrenärzte imstande diese Widersprüche zu heben. Es könnte ja sein, daß in gewissen Fällen die subjektive Tonerzeugung nur im nervösen Apparat, in andern in den Zuleitungsapparaten stattfände, in welchen letzteren dann natürlich auch die Möglichkeit einer inneren Knochenleitung nicht ganz ausgeschlossen wäre. Auffallender ist eine zweite Erscheinung. Sie besteht darin, daß bei sehr schwachen Tönen, bei denen man aber noch deutlich Schwebungen der zugeleiteten Töne (nicht bloße Aufmerksamkeitsschwankungen) wahrnimmt, diese »binauralen Schwebungen« einen andern Charakter als die gewöhnlichen monauralen besitzen. Solche schwache binaurale Schwebungen sind erstens sanfter: sie bewahren, auch wenn die sonst dem Stadium der Tonstöße entsprechende Geschwindigkeit erreicht ist, immer noch den Typus der eigentlichen Schwebungen (*A* Fig. 181); zweitens verschwinden die Inter-

[1] Melati, Philos. Stud. Bd. 17, 1901, S. 452.
[2] Stumpf, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 21, 1901, S. 117.

missionen viel früher, indem die Empfindung in die reine, ohne Rauhigkeit gehörte Dissonanz übergeht[1]. Es bedarf noch der näheren Untersuchung, ob diese Unterschiede durch die Interferenz der Schwingungen bei ihrer Leitung durch die Schädelknochen veranlaßt sein können, oder ob sie, wenn diese Ursache ausgeschlossen ist, auf den Einfluß zentraler Elemente bezogen werden müssen, in denen sich die von beiden Seiten zugeleiteten Erregungen begegnen. Selbstverständlich läßt sich diese Alternative nur durch Versuche und eventuell durch die physikalische Analyse der Interferenzerscheinungen in festen Körpern entscheiden. An sich ist es in Anbetracht der Verhältnisse der Gehörnervenreizung ebenso möglich, daß die Wellenform der Erregung in den Akustikusfasern noch erhalten bleibt, wie dies tatsächlich in den Muskelnerven geschieht, wo sich die intermittierende Erregung in den der Geschwindigkeit der Reizfolge entsprechenden Tonschwingungen des Muskels verrät. Danach würde in bezug auf den Akustikus die Frage lauten, ob die im peripheren Nerven intermittierende Reizung sich als solche in den mannigfachen Kreuzungsfasern, welche die zentrale Akustikusleitung darbietet (Fig. 77, Bd. 1, S. 231), nach der andern Seite fortpflanzt, oder ob schon in den Zellen des Spiralganglions die intermittierende in eine kontinuierliche Erregung umgewandelt wird.

Mehr als die Schwebungen haben schon seit langer Zeit die Kombinationstöne mit Rücksicht auf ihre musikalische Bedeutung die Aufmerksamkeit der Physiker gefesselt. Von dem deutschen Organisten SORGE 1740 entdeckt, sind sie dann von dem italienischen Musiker TARTINI beschrieben und nach ihm zuweilen auch TARTINIsche Töne genannt worden. Der Erste, der von ihrer Entstehungsweise Rechenschaft zu geben suchte, war THOMAS YOUNG, dessen Auffassung längere Zeit die herrschende blieb. Danach nahm man an, jede regelmäßige Intermission einer Bewegung werde von dem Hörnerven als Ton empfunden, und es setzten sich daher die Schwebungen, sobald ihre Geschwindigkeit die untere Tongrenze erreiche, zu einem Tone zusammen. Der Erste, der im Gegensatz hierzu eine objektive Entstehung der Kombinationstöne durch die Bildung resultierender Tonschwingungen annahm, scheint DOVE gewesen zu sein, dem SEEBECK sich anschloß[2]. HELMHOLTZ, der neben den Differenz- die Summationstöne nachwies (vgl. oben S. 104), vermittelte insofern zwischen beiden Ansichten, als er zeigte, daß sich unter gewissen Bedingungen Kombinationstöne objektiv in der äußeren Luftmasse hervorbringen lassen, wie z. B. in dem Luftraum einer Doppelsirene oder in dem Windkasten der Physharmonika, daß sie aber weitaus in den meisten Fällen erst im Gehörorgan entstehen. Dabei nahm er dann aber gleichwohl eine der objektiven analoge Entstehung dieser subjektiven Kombinationstöne an, indem er durch die mathematische Analyse nachwies, daß solche resultierende Töne namentlich dann leicht entstehen könnten, wenn die Tonwellen auf asymmetrisch gebildete schwingungsfähige Teile einwirkten. HELMHOLTZ vermutete diese Teile, wie schon vor ihm SEEBECK, in dem Trommelfell und den Gehörknöchelchen[3]. Dagegen glaubte später R. KÖNIG neben den Diffe-

[1] MELATI, a. a. O. S. 457 f. STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 470 f.
[2] DOVE, Repertorium der Physik, Bd. 3, 1839, S. 404.
[3] HELMHOLTZ, POGGENDORFFs Annalen, Bd. 99, S. 497 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 1, 1868, S. 1 ff.

renztönen noch eine zweite Klasse aus der Interferenz der Schwingungen entspringender Töne unterscheiden zu müssen, die er als Stoßtöne bezeichnete, und zu denen er insbesondere alle diejenigen Töne rechnete, die bei einfachen Klängen infolge der Verstimmung der Oktave und der harmonischen Intervalle innerhalb der Oktave entstehen. Hinsichtlich dieser Stoßtöne glaubte er aber wegen ihrer abweichenden Entstehungsbedingungen wieder auf die ältere Voraussetzung zurückgehen zu müssen, daß sich Intermissionen des Schalls, sofern sie nur regelmäßig seien, zu einer Tonempfindung zusammensetzten. Er berief sich dabei namentlich auch auf die oben erwähnten »Intermittenztöne«. Auf Grund rein mathematischer Betrachtungen suchte dann auch W. VOIGT die Entstehung einer solchen doppelten Form resultierender Töne wahrscheinlich zu machen[1]. Während jedoch KÖNIG für die eigentlichen Kombinationstöne die HELMHOLTZsche Erklärung beibehielt und nur die Hörbarkeit der letzteren gegenüber den Stoßtönen wesentlich einschränkte, erhoben andere Forscher speziell gegen jene Erklärung schwerwiegende Bedenken. Namentlich wurde geltend gemacht, daß Personen mit völlig mangelndem Trommelfell unter Umständen die Kombinationstöne hören[2], und daß zuweilen, z. B. bei verklingenden Stimmgabelklängen, die Differenztöne die Stärke der primären Töne erreichen können, während sie nach der HELMHOLTZschen Theorie immer von viel geringerer Intensität sein müßten[3]. Die auf diese Weise sehr verwickelt gewordene Frage ist nun schließlich durch zwei Nachweise wesentlich vereinfacht worden. Der eine ergibt sich aus der sorgfältigen subjektiven Analyse der Zusammenklänge, welche F. KRUEGER nach verbesserten Methoden ausführte, und durch die es ihm gelang, wesentlich alle von R. KÖNIG angenommenen Stoßtöne auf Differenztöne höherer Ordnung zurückzuführen. Da man früher in der Regel nur den ersten Differenzton als den direkt durch die Primärtöne eines Zweiklangs erzeugten anerkannte, so pflegte man nach dem Vorgang von HELMHOLTZ unter »Differenztönen höherer Ordnung« vorzugsweise die von Obertönen herrührenden Kombinationstöne zu verstehen. Dann blieb aber allerdings für eine Menge aus dem Zusammenklang heraushörbarer Differenztöne entweder überhaupt keine Stelle, oder diese Töne waren doch von einer in Anbetracht der sonstigen geringen Intensität der Differenztöne unwahrscheinlichen Stärke. Dagegen ordnen sich die sogenannten Stoßtöne vollständig dem System der Differenztöne unter, wenn man annimmt, wie dies zuerst auf Grund theoretischer Erwägungen HÄLLSTRÖM[4] ausführte, daß schon einfache Töne in ihrem Zusammenklang ein System von Differenztönen verschiedener Ordnung hervorbringen. Indem F. KRUEGER die Existenz dieser primären Differenztöne verschiedener Ordnung bei vollkommen obertonfreien Klängen experimentell nachwies, ergibt sich hieraus, wie oben dargelegt, eine einheitliche Betrachtung des gesamten Systems der Kombinationstöne[5].

Zu diesem ersten kommt als ein zweites, mit ihm prinzipiell übereinstimmendes Moment der von SCHÄFER und ABRAHAM gelieferte Nachweis, daß

[1] KÖNIG, Quelques expériences d'acoustique. 1882, p. 138 ff. WIEDEMANNS Annalen, Bd. 12, S. 335. Bd. 39, S. 395. W. VOIGT, ebend. Bd. 40, S. 652.

[2] DENNERT, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 24, S. 171 ff.

[3] L. HERMANN, PFLUEGERS Archiv, Bd 49, S. 499 ff.

[4] HÄLLSTRÖM, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 24, 1832, S. 438.

[5] FELIX KRUEGER, Philos. Stud. Bd. 17, 1901, S. 185 ff.

die Unterbrechungstöne ebenfalls mit großer Wahrscheinlichkeit als Kombinationstöne verschiedener Ordnung zu betrachten sind, und demnach, ebenso wie die neben dem ersten Differenzton gehörten Nebentöne einfacher Zusammenklänge, die Einführung einer besonderen Klasse resultierender Töne spezifischen Ursprungs nicht erforderlich machen[1]. Es bleiben so nur die Bedenken übrig, die sich gegen die Erklärung der subjektiven Kombinationstöne aus resultierenden Schwingungen in den Gebilden des Mittelohres erheben. Diese Bedenken richten sich aber nicht sowohl gegen die auf Grund der Analyse der Zusammenklänge nachgewiesenen psychologischen Eigenschaften derselben, als vielmehr gegen die physiologischen Annahmen, die über die spezielle Entstehungsweise gewisser Elemente dieser komplexen Empfindungen gemacht worden sind. Wir werden darum bei der kritischen Betrachtung der physiologischen Hörtheorien (f) auf diese Frage zurückkommen.

d. Absorption und Verschmelzung von Tönen.

In der obigen Erörterung der Klänge und der Zusammenklänge sind uns mehrfach zwei Erscheinungen entgegengetreten, die, obgleich sie sich in ihrer Beschaffenheit und darum mutmaßlich auch in ihren Entstehungsbedingungen wesentlich unterscheiden, doch darin übereinstimmen, daß sie eine Vereinfachung der Klangphänomene herbeiführen. Wir wollen das eine dieser Phänomene als das der Tonabsorption, das andere als das der Tonverschmelzung bezeichnen.

Von einer Tonabsorption können wir reden, wenn von zwei oder mehr Tönen ein einzelner die übrigen vollständig in der Empfindung auslöscht, ohne daß dies auf ein bloß durch Stärkeunterschiede bedingtes Übertäuben dieser anderen Töne zurückgeführt werden kann. Von dem letzteren unterscheidet sich die Absorption wesentlich dadurch, daß sie bei Tönen von vollkommen gleicher Stärke eintreten kann, und daß es niemals möglich ist, in der durch die Wechselwirkung der Töne entstehenden resultierenden Empfindung durch noch so aufmerksames Analysieren des Klangs eine Spur der absorbierten Töne nachzuweisen, indem der nach der Absorption zurückbleibende Ton einen durchaus einfachen Charakter bewahrt. Eines der auffallendsten Beispiele dieser Tonabsorption ist die Auslöschung der beiden Töne eines nur von der Prime wenig abweichenden Zusammenklangs durch den Zwischenton (S. 102). Hier absorbiert dieser im Gehörorgan entstehende Ton die beiden primären Töne und läßt sie erst bei einem etwas größer werdenden Intervall, aber auch dann zunächst nur abwechselnd und mit Unterbrechungen, worin sich ein partielles Fortwirken der Absorption zu verraten scheint, hervortreten. Ähnlich tritt eine solche Absorption bei Differenztönen ein, die

[1] Schäfer und Abraham, Pflügers Archiv, Bd. 88, 1901, S. 475 ff.

um relativ wenige Schwingungen voneinander entfernt liegen. Auch hier scheint wieder ein Zwischenton zu entstehen, der je nach Umständen dem tieferen oder höheren der ursprünglichen Differenztöne näher oder auch in der Mitte zwischen ihnen liegt, so daß das Phänomen vollständig auf das vorige zurückführt. Da nun der Zwischenton, wenn er sich auch erst im Gehörorgan bildet, doch ohne allen Zweifel auf einer selbständigen resultierenden Erregung in demselben beruht, so handelt es sich hier aller Wahrscheinlichkeit nach um eine Interferenzwirkung von Erregungen im peripheren Organ, und die Absorption ist also mutmaßlich kein der Empfindung selbst, sondern ein dem Gebiet der physiologischen Reizung angehörender Vorgang, über den demnach die physiologische Theorie der Gehörsreizung Rechenschaft zu geben hat (vgl. unten f)[1].

Wesentlich anders verhält es sich mit der Tonverschmelzung. Unter ihr verstehen wir nämlich ausschließlich solche resultierende Wirkungen gleichzeitiger Töne, bei denen die einzelnen Elemente noch in der unmittelbaren Empfindung nachweisbar sind. Dadurch unterscheidet sich die Tonverschmelzung nicht bloß von der Tonabsorption, sondern auch von den meisten Wirkungen der Reizmischung in andern Sinnesgebieten, wo in den resultierenden Empfindungen keine Spur ihrer Komponenten zu entdecken ist, so daß diese Resultanten ebenso einfach erscheinen, wie jede einzelne ihrer Komponenten. Augenfällige Beispiele dieser wesentlich verschiedenen Formen bilden auf der einen Seite die Verbindung des Grundtons mit seinen Obertönen in einem Einzelklang, auf der anderen die Aufhebung zweier Farben bei ihrer Mischung zu Weiß oder zu einer zwischen ihnen liegenden einfachen Farbe. Das Weiß, das aus der Mischung von Rot und Grün, oder auch das Orange, das aus der von Rot und Gelb hervorgeht, ist eine einfache, keine doppelte Empfindung. In dem Klang vermögen wir aber die Obertöne wirklich zu hören, und nur soweit wir hierzu imstande sind, nehmen wir überhaupt eine Tonverschmelzung an. Hieraus erhellt, daß der zur Farbenmischung analoge Prozeß die Tonabsorption ist, wenn diese auch, den verschiedenen Bedingungen der Schallreizung entsprechend, nach ihren physiologischen Bedingungen wesentlich abweicht. Im Gebiet der chemischen Sinne gehört hierher die wechselseitige Kompensation von Geruchs- und Geschmacksempfindungen, während man dagegen in jenen Mischgeschmäcken, in denen die Komponenten noch zu erkennen sind, wohl eher

[1] Hiernach braucht wohl kaum noch besonders bemerkt zu werden, daß die hier als Tonabsorption beschriebene Erscheinung mit dem, was TH. LIPPS als »psychische Absorption« bezeichnet, nichts zu tun hat (Sitzungsber. der Münchener Akademie. Phil.-hist. Kl. 1901, S. 549 ff.). Die Tonabsorption ist eine im Gehörorgan entstehende »physische Absorption«. Die von LIPPS sogenannte »psychische Absorption« fällt aber ganz und gar in das Gebiet der Apperzeptionsverbindungen.

ein der Tonverschmelzung analoges Phänomen sehen könnte, wenn nicht hier der Umstand, daß die Zunge an ihren einzelnen Stellen für die verschiedenen Geschmäcke eine abweichende Erregbarkeit besitzt, zugleich eine teilweise räumliche Sonderung der Reize herbeiführte (S. 62).

Aus allem diesem erhellt, daß die Tonverschmelzung, im wesentlichen Unterschiede von der Tonabsorption sowie von den Kompensationsphänomenen im Gebiet der chemischen Sinne, ein psychischer Vorgang ist. Natürlich können bei ihm, so gut wie bei anderen psychischen Vorgängen, zugleich physiologische Begleiterscheinungen im Spiele sein; aber dann sind diese auf alle Fälle zentraler, nicht peripherer Natur. Von der psychischen Seite aus betrachtet gehören nun die Tonverschmelzungen unverkennbar in das große Gebiet der Assoziationsvorgänge, insofern wir unter diesen, wie es konsequenter Weise geschehen muß, alle die Verbindungen zwischen psychischen Elementen verstehen, die sich in unserem Bewußtsein fortwährend vollziehen, ohne daß dabei die Willensvorgänge eine erkennbare Rolle spielen. Hierdurch wird eine abschließende Betrachtung der Tonverschmelzungen an dieser Stelle unmöglich, da ihr psychologischer Charakter erschöpfend eben nur im Zusammenhang mit der Bildung der einzelnen Formen der Gehörsvorstellungen und schließlich mit der Gesamtheit der Assoziationsprozesse untersucht werden kann. Aber insofern eine solche Untersuchung doch hinwiederum nur auf Grund der einzelnen Tatsachen möglich ist, werden schon hier, zunächst unter Einschränkung auf die bei den Einzelklängen, den Zusammenklängen und den Geräuschen wahrzunehmenden Erscheinungen, die Tonverschmelzungen zu erörtern sein.

Bei allen diesen Erscheinungen charakterisiert sich nun die Tonverschmelzung in der unmittelbaren Wahrnehmung stets als eine Verbindung von Empfindungen, in der eine einzelne vorherrscht. Wir bezeichnen diese als die dominierende, die übrigen als die modifizierenden Empfindungen. Dieses Vorherrschen einer Einzelempfindung wird begünstigt, wenn dieselbe auch durch ihre Intensität die andern übertrifft. Ein Beispiel hierfür bieten die gewöhnlichen Einzelklänge, in denen der Grundton, der dominierende Ton, in der Regel bedeutend stärker ist als die ihn modifizierenden Obertöne. Aber wenn man simultan eine Reihe von Tönen mit gleicher Stärke angibt, die der Reihe der Teiltöne eines Klangs entspricht, so bleibt auch hier der tiefste der Töne dominierender Ton. Macht man z. B. diesen Versuch an einem Obertöneapparat, der ähnlich dem Tonmesser (S. 92) konstruiert ist und einen Grundton mit seinen Obertönen enthält, oder läßt man die Töne von Stimmgabeln, die der Reihe der Teiltöne eines Klangs entsprechen, durch eine Einrichtung wie in Fig. 177, S. 90, simultan auf das Ohr eines entfernten

Beobachters einwirken, so erhält man vollkommen den Eindruck des Einzelklangs, trotz der Zusammensetzung aus einer Summe annähernd gleich starker Töne. Bei harmonischen Akkorden tritt zwar die dominierende Empfindung mehr zurück, und man hat darum unmittelbar den Eindruck einer zusammengesetzten Empfindung; gleichwohl bleibt auch hier noch eine Empfindung als die dominierende bestehen, und auch sie ist nicht sowohl von der Tonstärke als von den qualitativen Verhältnissen der Töne abhängig. Bei dem Dreiklang *c e g* ist z. B. *c*, bei dem Dreiklang *c es g* ist *g* der dominierende Ton. Es wird erst bei der Untersuchung der zusammengesetzten Klangvorstellungen am Platze sein, auf die Bedingungen dieses Wechsels der dominierenden Empfindungen näher einzugehen. Hier ist diese Tatsache nur als ein Beispiel der wichtigen Rolle, die bei den Tonverschmelzungen die dominierende Empfindung spielt, hervorzuheben. Sobald nun neben ihr modifizierende Elemente vorhanden sind, bedarf es, namentlich wenn diese zugleich schwächere Klangbestandteile sind, einer besonderen Richtung der Aufmerksamkeit, um sie wahrzunehmen. Diese Richtung und ihre Wirkung auf die Unterscheidung eines einzelnen der modifizierenden Elemente ist das, was man die »Analyse« des Klangs oder Zusammenklangs nennt. Der Zustand der Analyse ist also nichts anderes als ein Zustand auf die Tonelemente gerichteter Aufmerksamkeit, der ebensowenig die Gesamtempfindung als solche verändert, wie dies sonst bei der Apperzeption irgendwelcher Bewußtseinsinhalte der Fall ist[1]. Vielmehr unterscheiden wir hier, wie überall, die Richtung der Aufmerksamkeit auf das Wahrgenommene von dem Wahrgenommenen selbst. Eben deshalb haben wir dann aber auch unmittelbar den Eindruck, daß die bei der Analyse stattfindende Aufmerksamkeitsspannung der im Bewußtsein vorhandenen Klangempfindung nichts hinzufügt, was dieser nicht auch ohne sie zukäme.

Indem nun jene mit der Richtung auf die einzelnen Bestandteile des Klangs verbundene Anspannung der Aufmerksamkeit, die wir auch weiterhin kurz als »Klanganalyse« bezeichnen wollen, das Mittel ist, um die einzelnen Empfindungen, die in einem Einzelklang oder Zusammenklang enthalten sind, zu erkennen, bleibt zugleich die größere oder geringere Schwierigkeit dieser Analyse das einzige Maß, um etwaige Gradunterschiede der Tonverschmelzung zu unterscheiden. Daß es solche Gradunterschiede gibt, lehrt uns ja übrigens nicht bloß die Vergleichung der Einzelklänge und der Zusammenklänge, sondern schon die der verschiedenen Einzelklänge miteinander, da unter diesen manche vorkommen, bei denen sich modifizierende Teiltöne sofort, andere, bei denen sie sich

[1] Vgl. oben Kap. VI, Bd. 1, S. 382, und unten Abschn. V.

nur bei großer Anspannung der Aufmerksamkeit zu erkennen geben. Besäßen wir die Hilfsmittel, um die Grade der Aufmerksamkeitsspannung exakt messen zu können, so ließe sich vielleicht die Innigkeit, mit der ein modifizierendes Element von gegebener Stärke mit dem dominierenden verschmilzt, dem Grade der Aufmerksamkeitsspannung, der zu seiner Erkennung erforderlich ist, proportional setzen. Ein solches Hilfsmittel besitzen wir aber nicht. Dagegen gibt es einen andern Weg, auf dem sich annähernd dasselbe Ziel erreichen läßt. Wir sind nämlich bei zureichender Übung leicht imstande, während einer kurzen Zeit die Aufmerksamkeit in einer konstanten maximalen Größe anzuspannen; und wir können weiterhin mit zureichender Wahrscheinlichkeit voraussetzen, daß bei solch konstanter Spannung die Leistung der Aufmerksamkeit innerhalb einer kurzen Zeit der Dauer ihrer Spannung proportional sein werde, da sich jeder sehr kleine Teil einer Funktion einem linearen Verlaufe nähert. Demnach besteht das sich von selbst darbietende Verfahren und zugleich das einzige einigermaßen exakte, welches möglich ist, darin, daß man die Zeit bestimmt, die bei maximal gespannter Aufmerksamkeit erforderlich ist, um eine Empfindung aus der Verbindung, in der sie als verschmolzener und nicht als dominierender Bestandteil enthalten ist, zu isolieren. Hierbei zeigt sich nun zunächst, daß auf die gewonnenen Ergebnisse die Dauer der kurzen Zeiten, während deren sich die Aufmerksamkeit auf den Klang richtet, einen entscheidenden Einfluß hat. Die kürzesten überhaupt möglichen Zeiten sind bei solchen Beobachtungen natürlich diejenigen, die gerade zureichen, um eine Klangmasse eben noch in ihre Elemente zu zerlegen. Diese Minimalzeiten der Klangzerlegung suchte R. SCHULZE für den einfachsten Fall, nämlich bei der Einwirkung von Zweiklängen, in der Weise zu bestimmen, daß einem in einem entfernten Raum befindlichen geübten Beobachter von vorzüglichem musikalischem Gehör ein Zusammenklang durch ein Schallrohr zugeleitet wurde. Dieser bestand aus zwei einfachen Stimmgabeltönen von gleicher Stärke, und er wurde, nachdem die Stimmgabeln in Schwingung gebracht waren, während des Ausklingens derselben jedesmal in einer sehr kurzen, aber zwischen gewissen Grenzen abzustufenden Zeit zugeführt. Der zu diesem Zweck angewandte Apparat war derselbe wie bei den oben (S. 97) erwähnten Versuchen über die kleinste als Ton empfindbare Schwingungszahl: ein schwingendes Pendel öffnete eine in die Schallröhre eingeschaltete, die Tonbewegung absolut zurückhaltende Hahnvorrichtung, um dieselbe nach einer genau abzumessenden Zeit wieder zu schließen. Die kleinste verwendbare und noch genau bestimmbare Zeit betrug 0,004, die größte 2 Sek. Die folgende Tabelle gibt nun in der ersten Horizontalreihe die angewandten Intervalle, die sämtlich

zwischen dem Tone $c^1 = 256$ und $c^2 = 512$ Schw. lagen, in der zweiten die zur Erkennung der Zweiheit der Töne erforderliche Zeit in Tausendteilen einer Sek.

$e^1 f^1$	$c^1 d^1$	$d^1 f^1$	$c^1 e^1$	$c^1 f^1$	$f^1 h^1$
140	37	24	9	7	6
(Kl. Sek.)	(Gr. Sek.)	(Kl. Terz)	(Gr. Terz)	(Quarte)	(Überm. Quarte)
$e^1 h^1$	$e^1 c^2$	$d^1 h^1$	$d^1 c^2$	$c^1 h^1$	$c^1 c^2$
7	6	6	7	7	7
(Quinte)	(Kl. Sext)	(Gr. Sext)	(Kl. Septime)	(Gr. Septime)	(Oktave)

Die angegebenen Zahlen sind nicht absolut genau, weil durch die Reflexionswirkungen der Schallwellen möglicherweise die Dauer des Klangs um Werte von etwa 0,5 σ ($1\ \sigma = {}^1/_{1000}$ Sek.) verlängert sein konnte, was aber bei der Kleinheit dieser Zeit an dem Gesamtergebnis nichts ändert. Hiernach ist der Grad der Verschmelzung zweier Töne bei möglichst kurzer Einwirkung derselben direkt von der Höhendistanz derselben abhängig, indem er mit wachsendem Höhenunterschied zuerst sehr rasch abnimmt, und dann (bei mittleren Tonhöhen etwa von der großen Terz an) konstant bleibt. Dagegen ist er von den Verhältnissen der Intervalle ganz und gar unabhängig, indem Konsonanzen nicht im geringsten vor Dissonanzen bevorzugt erscheinen. So ist die zur Erkennung der Zweiheit der Töne erforderliche Zeit für die kleine Sekunde weitaus am größten, und für die kleine und große Septime ist sie nicht merklich verschieden von der Oktave usw.[1] Mit diesen Ergebnissen stimmen Versuche von STUMPF, die nach anderer Methode und bei im ganzen etwas größeren Zeiten ausgeführt wurden, in allem wesentlichen überein[2].

Ganz anders verhalten sich dagegen die Erscheinungen, wenn man die Zeiten des Klangeindrucks zwar immer noch hinreichend kurz nimmt, um während derselben einer zureichenden Konstanz der Aufmerksamkeit versichert zu sein, aber doch auch lang genug, daß die qualitativen Verhältnisse der Klangbestandteile zum Einfluß gelangen. Läßt man z. B. verschiedene Zusammenklänge, wiederum bei gleicher Intensität der Einzelklänge, jedesmal 2 Sek. lang gleichmäßig einwirken, so tritt nun ein deutlicher Einfluß der Intervalle hervor. Er zeigt sich am stärksten dann, wenn man Töne, die zusammen einem Grundton mit seinen Obertönen entsprechen, mit irgendwelchen andern, konsonanten oder dissonanten Intervallen vergleicht. Hier ergibt sich nämlich, daß die Glieder einer Obertonreihe bei gleicher Tonintensität um so weniger mit dem Grundton verschmelzen, je weiter sie von diesem

[1] R. SCHULZE, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 485.
[2] STUMPF, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 161 ff.

abstehen, und je weniger sie durch zwischenliegende Obertöne mit ihm verbunden sind. Der Dreiklang *Aae* (1 : 2 : 3), in welchem *A* den Ton von 108, *a* seine Oktave von 216 Schw. bezeichnet, wurde z. B. schwerer zerlegt als der Zweiklang *Ae* (1 : 3). Näheres erhellt aus den beiden folgenden Tabellen, deren erste Versuche mit beliebigen Zweiklängen, und deren zweite solche mit Zusammenklängen enthält, die Obertonreihen eines vollständigen Klanges sind. Die Versuche waren in diesem Fall so eingerichtet, daß jeder Zusammenklang im unregelmäßigen Wechsel mit andern 60 mal, aber 2 Sek. lang, sonst aber nach derselben Methode wie oben, geboten wurde. Die unter den Tönen verzeichneten Zahlen bezeichnen die Fälle, in denen der Klang als ein einziger Ton, und zwar jedesmal als der tiefste der zusammenklingenden Töne, gemäß dem Prinzip des dominierenden Tones, aufgefaßt wurde. Auch diese Reihe stammt von einem musikalischen, in der Klanganalyse geübten Beobachter her[1].

I. Zweiklänge.

Aa (1 : 2)	Ae^1 (1 : 3)	Aa^1 (1 : 4)	$Acis^2$ (1 : 5)	Ae^2 (1 : 6)
55	52	21	16	2

ae^1 (2 : 3)	$acis^2$ (2 : 5)	a^1e^2 (4 : 6)	c^1e^2 (3 : 6)
5	9	2	46

II. Obertonreihen.

Aa (1 : 2)	Aae^1 (1 : 2 : 3)	Aae^1a^1 (1 : 2 : 3 : 4)	$Aae^1a^1cis^2$ (1 : 2 : 3 : 4 : 5)
55	55	38	44

$Aae^1a^1cis^2e^2$ (1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6)
17

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, daß in den tieferen Tonlagen unter sonst gleichen Bedingungen die Töne leichter verschmelzen als in den mittleren (man vergleiche unter I 4 : 6 und 3 : 6 mit 2 : 3 und 1 : 2),

[1] R. SCHULZE, a. a. O. S. 475 ff. Unter drei Beobachtern, die an diesen Versuchen teilnahmen, vermochten die musikalisch weniger geübten auch nur unvollkommener zu analysieren. Die Unterschiede bei den einzelnen Zusammenklängen waren daher bei ihnen kleiner, liegen aber in der gleichen Richtung. STUMPF hat auch hier ähnliche Versuche ausgeführt, allerdings bei der etwas kürzeren Einwirkungszeit von 1 Sek., ist jedoch zu entgegengesetzten Ergebnissen gelangt: die aus mehr Tönen zusammengesetzten Klangmassen wurden stets leichter analysiert, auch wenn sie eine Obertonreihe bildeten (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 174 ff.). STUMPF vermutet daher, in den Versuchen SCHULZEs seien bei den komplizierteren Zusammenklängen die einzelnen Töne wegen des sukzessiven Anschlages zu schwach gewesen. Dies war durch die Versuchsmethode ausgeschlossen. Wohl aber war ein anderer Unterschied in den Versuchsbedingungen vorhanden, der wohl eher an dieser Differenz der Ergebnisse die Schuld tragen dürfte: STUMPF experimentierte nicht mit den ausklingenden Tönen von Stimmgabeln, sondern mit den Klängen einer Flaschenorgel, die jedenfalls viel intensiver, besonders in den oberen Lagen, sind, so daß die Obertöne vermutlich durch ihre Klangstärke bevorzugt waren. Zudem scheint es mir bedenklich, daß STUMPF auch hier mehrere Personen gleichzeitig beobachten ließ. Kollektivbeobachtungen sind überall, wo die Aufmerksamkeitsvorgänge ins Spiel kommen, unbedingt zu verwerfen. (Vgl. Bd. 1, S. 41.)

und daß im übrigen der Grad der Verschmelzung, außer von der Tondistanz, von der Zugehörigkeit zur Obertonreihe des tiefsten der gleichzeitig einwirkenden Töne abhängt: ein Ton, der zur Obertonreihe eines andern gehört, verschmilzt mit diesem sehr viel leichter als irgend ein anderer.

Tondistanz und Zugehörigkeit zur Obertonreihe repräsentieren demnach zwei verschiedene Bedingungen, deren Verbindung und Durchkreuzung für die Tonempfindungen charakteristisch ist. Unter diesen beiden Momenten entspricht die leichtere Verschmelzung naheliegender Tonqualitäten einem auf allen Sinnesgebieten zu beobachtenden Prinzip, nach dem die Unterscheidung, welche die Verschmelzung simultaner Empfindungen aufhebt, von dem Kontrast derselben bestimmt wird, der seinerseits vom Grad des Unterschiedes abhängt. Das zweite, die leichtere Verschmelzung eines Tones mit einem Ton seiner Obertonreihe, zu dem er als dominierendes Element gehört, entspricht dagegen einer eigenartigen Anwendung des Prinzips der assoziativen Übung auf das Tongebiet. Denn wir werden kaum umhin können, diese Erscheinung mit dem Einfluß in Zusammenhang zu bringen, den hier die gesetzmäßigen und darum auch in der Empfindung fortwährend sich wiederholenden natürlichen Tonverbindungen des Einzelklanges ausüben, ein Einfluß, der dem künstlichen und zugleich wechselnderen musikalischer Zusammenklänge selbst für das musikalisch geübte Ohr weit überlegen ist. Daraus erhellt zunächst, daß die Tonverschmelzung in beiden Beziehungen ein psychischer Vorgang ist, der nach seinem ganzen Charakter in die Reihe der elementaren Assoziationsprozesse gehört, bei denen er uns daher später noch beschäftigen wird. Daneben zeigt er aber, insofern die Töne der Obertonreihe bei ihm eine Rolle spielen, Beziehungen zur Konsonanz und Dissonanz der Zusammenklänge. Doch sind diese Beziehungen, auf die in Kap. XII näher einzugehen sein wird, allerdings, wie schon aus den obigen Abhängigkeitsverhältnissen erhellt, durchaus nur sekundäre und indirekte.

Den Begriff der »Verschmelzung« als Ausdruck für solche Verbindungen psychischer Elemente, die sich durch eine besondere Festigkeit sowie dadurch auszeichnen, daß die entstehenden Produkte neue Eigenschaften darbieten, die den Elementen als solchen einzeln genommen nicht zukommen, hat die neuere Psychologie der Herbartschen entnommen; aber sie hat dabei hier, wie in andern Fällen, den Begriff von dem hypothetischen und metaphysischen Beiwerk, das ihm bei Herbart anhaftete, zu befreien und ihn auf eine rein empirische Basis zu stellen gesucht. Da es nun hauptsächlich die »Tonverschmelzung« war, von der diese Versuche ausgingen, so muß vorläufig schon hier auf die allgemeinere Bedeutung des Verschmelzungsbegriffs kurz hingewiesen werden, obgleich die nähere Erörterung desselben und seiner Stellung zur Ge-

samtheit der Assoziationsprozesse selbstverständlich erst folgen kann, nachdem wir auch die übrigen Fälle seiner Anwendung, darunter namentlich die Erscheinungen der »extensiven Verschmelzung« näher kennen gelernt haben. Ob der Ausdruck »Verschmelzung« überhaupt ein glücklicher sei, kann man vielleicht bezweifeln. Doch nachdem er einmal da ist, und da uns ein besserer für die fragliche Form assoziativer Prozesse nicht zu Gebote steht, so sollte er wenigstens in dem Sinne festgehalten werden, daß man ihn, seinem Ursprunge gemäß, auf bestimmte psychische Verbindungen einschränkt, also auf solche, in denen die in der Verbindung enthaltenen Elemente wirklich als psychische, das heißt als Empfindungen oder als Gefühlselemente, unmittelbar aufzufinden sind; nicht aber sollte man ihn auf alle möglichen physiologischen Mischungsphänomene, bei denen ein solcher Nachweis von vornherein ausgeschlossen ist, ausdehnen. Das letztere geschieht z. B., wenn Ejnar Buch die Verschmelzung als eine »Verbindung von Reizen« definiert, »aus der nur eine einzige Vorstellung entstehe, die verändert werde, sobald man eine der Reizkomponenten verändere oder hinwegnehme«[1]. Diese Definition trifft natürlich ebensogut für die Farbenmischungen, für die einander kompensierenden Geruchs- und Geschmacksempfindungen und schließlich für die oben geschilderten Erscheinungen der Tonabsorption zu, wie für die »Tonverschmelzungen«. In der Tat hat man in diesem Sinne z. B. auch die Verbindung zweier Komplementärfarben zu Weiß als eine »Verschmelzung« aufgefaßt, die der Tonverschmelzung analog sei. Gleichwohl wird hier gerade der Punkt übersehen, der dem Vorgang der Verschmelzung erst seinen eigenartigen Charakter gibt: das ist die Tatsache, daß die verschmolzenen Töne in dem entstandenen Produkt noch als Empfindungen enthalten sind, während sicherlich Purpur und Grün in dem Weiß, das aus ihnen entsteht, nicht mehr unterschieden werden können. Der Fehler besteht also darin, daß hier der Verbindung der Empfindungen die der Reize substituiert wird. Dies würde selbst dann ein Fehler sein, wenn man etwa einer Theorie der »Verschmelzungen« die Aufgabe stellen wollte, das psychische Produkt aus seinen physiologischen Bedingungen, also eben aus den Verhältnissen der Reizungsvorgänge, zu erklären. Denn auch dann würde man unabweislich zu dem Ergebnisse gelangen, daß bei den Farbenmischungen offenbar schon im peripheren Sinnesorgan eine Resultante zustande kommt, die für die zentraleren Gebiete der Sinnesleitung die Komponenten überhaupt nicht mehr bestehen läßt, während die Komponenten einer »Tonverschmelzung« noch im Hörzentrum gesondert existieren müssen. Da aber in diesem Fall der Verbindungsprozeß jedenfalls zugleich ein psychischer ist, so steht hier der psychologische Charakter der Verbindung um so mehr im Vordergrund unseres Interesses, weil wir nicht nur von einem physiologischen Korrelatvorgang einer solchen zentralen Verbindung überhaupt nichts wissen, sondern auch die Möglichkeit zugeben müssen, daß er nicht existiert, da es sehr wohl denkbar ist, die Koexistenz mehrerer Tonerregungen im Hörzentrum genüge an und für sich schon zu ihrer Verschmelzung.

Von einem andern Gesichtspunkte aus hat Stumpf die »Tonverschmelzungen« behandelt. Er glaubt vor allem den Verschmelzungsbegriff logisch definieren und dann auf Grund einer solchen Definition auch den Tonver-

---

[1] Ejnar Buch, Philos. Stud. Bd. 15, 1899, S. 12.

schmelzungen ihre Stelle anweisen zu müssen. Als das entscheidende logische Merkmal betrachtet er nun die Verbindung zu einem Ganzen. Wo in unserem Bewußtsein Merkmale oder Teile ein Ganzes bilden, da ist ihm daher dies ein Fall von Verschmelzung. So gilt ihm denn als die innigste Form derselben die Verbindung der Intensität und Qualität einer Empfindung, und dem stellt er als die loseste eine solche Erscheinung wie die Komplikation einer Gesichts- mit einer Tast- oder Gehörsvorstellung gegenüber. Demnach umfaßt bei ihm die Verschmelzung alles was in unserem Bewußtsein überhaupt zusammen vorkommt. Sie erstreckt sich von logischen Merkmalen, die überhaupt nur in unserer Abstraktion voneinander gesondert werden, wie Intensität und Qualität, bis zu selbständigen Erfahrungsinhalten, die sich nur gelegentlich und zufällig einmal zusammenfinden, ohne sich zu beeinflussen, wie ein Gesichtsobjekt und ein gleichzeitig gehörter Klang[1]. Aus diesem rein logisch bestimmten Verschmelzungsbegriff ergibt sich nun als einziger Ertrag für die »Tonverschmelzung«, daß es verschiedene »Grade der Verschmelzung« gibt, je nachdem die einzelnen Töne mehr oder weniger ein »Ganzes« bilden. Um diese Grade der Verschmelzung bei den verschiedenen musikalischen Intervallen zu ermitteln, hat STUMPF vor allem an Unmusikalischen Versuche ausgeführt, indem er von der Ansicht ausging, der natürliche Verschmelzungsgrad werde sich am reinsten bei Personen herausstellen, die weder in der Klanganalyse noch in der Vergleichung der Intervalle geübt seien. Er hat dann aber auch an sich selbst, also unter den günstigsten Bedingungen musikalischer Übung, Beobachtungen gemacht. Dabei kam er hier wie dort, abgesehen von den natürlich sehr großen Schwankungen, welche die Urteile der Unmusikalischen boten, zu einem im ganzen übereinstimmenden Ergebnis: die konsonanten Intervalle hatten den größten Verschmelzungsgrad, und sie bildeten eine dem Grad der Konsonanz entsprechende Reihe: Oktave, Quinte, Quarte, dann, einander ziemlich gleichstehend, Terzen und Sexten. Auf Grund dieser Resultate kam daher STUMPF zu der Überzeugung, daß die Konsonanz ein Produkt der Verschmelzung, die Dissonanz eine Wirkung mangelhafter Verschmelzung sei[2]. Nun war aber bei jenen Versuchen das Kriterium für den Grad der Verschmelzung der Eindruck der Klangeinheit. Daß dieser auch für das unmusikalische Ohr bei den konsonanten Intervallen größer sein und mit dem Grad der Konsonanz zunehmen muß, ergibt sich schon aus dem was oben (S. 106 f.) über die begleitenden Differenztöne bemerkt wurde. Danach bildet die Oktave einen Hauptwendepunkt in bezug auf diese Töne, insofern sie bei ihr ganz verschwinden; nach ihr kommt die Quinte, usf. Die Unmusikalischen mußten also die konsonanten Intervalle deshalb als die einfacheren auffassen, weil sie wirklich die einfacheren sind, was schon für die Zusammenklänge einfacher Töne, und dann natürlich in noch höherem Grade für obertonreiche Klänge zutrifft, die meist zu den Versuchen benutzt wurden. Der Verschmelzungsgrad selbst blieb also dabei ganz außer Frage. Das nämliche gilt natürlich auch für die musikalisch geübten Beobachter; nur daß sie ohnehin weit mehr als die Unmusikalischen geneigt sind, die konsonanten

[1] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 1 ff.

[2] STUMPF, a. a. O. S. 176. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 15, S. 121. Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft. Heft 1, 1898, S. 34 ff. Versuche an Unmusikalischen, im wesentlichen mit dem gleichen Ergebnis, sind dann auch noch von FAIST ausgeführt worden, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 15, S. 113.

Intervalle zu bevorzugen. Die Versuche STUMPFS waren also lediglich Versuche über den Grad der Konsonanz, und wenn er zu finden glaubte, daß der Grad der Verschmelzung ein Maß der Konsonanz sei, so hatte er vielmehr umgekehrt die Konsonanz zum Maß der Verschmelzung genommen, woraus sich dann freilich auch die Unhaltbarkeit seiner auf diesem vitiösen Zirkel beruhenden Konsonanztheorie ergibt. (Vgl. Kap. XII.) Nicht minder erklärt sich daraus der Widerspruch, in dem seine Resultate zu den oben mitgeteilten Ergebnissen stehen. Übrigens hält STUMPF eine psychologische Interpretation der Verschmelzung und demnach auch der Konsonanz für unmöglich, weil er findet, daß ebensowohl die HERBARTsche Vorstellungsmechanik wie das alte Inventar der Assoziationspsychologie, Assoziation nach Ähnlichkeit, Gewohnheit, Kontrast u. dergl., dazu nicht hinreichen. Er kommt daher schließlich auf die Forderung einer physiologischen Theorie hinaus, d. h. auf die Annahme irgendeines unbekannten Verschmelzungsapparates im Hörzentrum, womit dann freilich das Problem nicht gelöst, sondern für unlösbar erklärt ist[1]. Deutlich erhellt übrigens die in STUMPFS Versuchen obwaltende Verwechslung der Verschmelzung mit der Konsonanz auch aus den von ihm formulierten »Verschmelzungsgesetzen«. Diese Gesetze treffen nämlich für die Konsonanz im allgemeinen zu, während für die wirkliche Verschmelzung vielfach ihr Gegenteil gültig ist[2]. So soll der Verschmelzungsgrad 1) unabhängig sein von der Tonregion, — nichts ist aber gewisser, als daß die tiefen Töne bei gleichem Intervall sehr viel leichter verschmelzen als die mittleren der musikalischen Skala. 2) Er soll unabhängig von der absoluten oder relativen Stärke der Töne sein, — auch das ist für die Konsonanz natürlich wahr, für die Verschmelzung ist aber wieder das Gegenteil richtig: die modifizierenden Elemente verschmelzen, je schwächer sie absolut und relativ sind, um so leichter mit dem dominierenden Ton, wie dies die Analyse des einfachsten Falls der Verschmelzung, der der Obertöne in Einzelklang, lehrt. 3) Die Hinzufügung weiterer Töne soll den Verschmelzungsgrad in keiner Weise beeinflussen: auch das gilt für die Konsonanz, nicht für die Verschmelzung, wie die obigen Versuche mit der Obertonreihe zeigen. 4) Die Verschmelzungsgrade sollen nicht stetig mit Änderung der Tondistanz, sondern plötzlich mit der Annäherung an neue konsonante Intervalle wechseln, — auch das ist wieder für Konsonanzen richtig, aber nur in bedingter Weise für die Verschmelzungsgrade. Das Einzige, was in den aufgestellten Sätzen zutreffend ist, bleibt dies, daß sehr kleine Änderungen in dem Verhältnis der Schwingungszahlen auch kleine Änderungen im Grad der Verschmelzung hervorbringen, weil eben dieser Satz sowohl für Verschmelzungen wie für Konsonanzen, nur freilich für die ersteren in viel weiterem Umfange gilt, daher diese Einschränkung zeigt, daß das, worauf der Satz bezogen wird, wiederum bloß die Konsonanz ist.

Gegenüber diesen auf unauffindbare physiologische Momente zurückgehenden »Verschmelzungstheorien« hat nun TH. LIPPS seine Auffassung zunächst auf die psychologische Natur des Phänomens zu gründen gesucht, und ist dabei nicht von dem an sich verwickelteren Zusammenklang, sondern von dem Einzelklang mit seinen Obertönen ausgegangen. Aber indem er die

---

[1] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 211. Beiträge, S. 50 ff.
[2] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 136.

Obertöne als »unbewußte« oder wenigstens zeitweise unbewußt werdende Empfindungselemente betrachtet, hat er ebenfalls willkürlich angenommene hypothetische Elemente in das Phänomen hineingelegt, die überdies mit den Erscheinungen selbst im Widerspruch stehen[1]. In der Tat verschwindet in dem Augenblick, wo die Klangelemente unbewußt werden, auch ihr Einfluß auf die Klangfarbe, während anderseits die verstärkte Richtung der Aufmerksamkeit auf einzelne Teiltöne jene absolut nicht verändert. Abgesehen davon, daß die Obertöne bei zureichender Übung unmittelbar unterschieden werden können, also jedenfalls nicht unbewußt sind, haben wir daher auch in den Fällen, wo sie sich erst einer durch besondere Hilfsmittel unterstützten Klanganalyse verraten, allen Grund, anzunehmen, daß sie zwar durch die Verschmelzung mit andern Tonelementen verdunkelt sind, aber nie, so lange sie überhaupt die Klangfarbe modifizieren, aus dem Bewußtsein verschwinden. Wollte man das Gegenteil voraussetzen, so würde das nicht bloß mit den Wirkungen der noch deutlich unterscheidbaren Obertöne, sondern es würde auch mit allen den Tatsachen in Widerspruch treten, die uns später (in Abschn. V) bei der allgemeinen Analyse der Bewußtseinsinhalte begegnen werden. Denn diese Analyse zeigt überall eine mannigfaltige Abstufung der Klarheitsgrade der Bewußtseinselemente, und sie läßt dabei zugleich auf eine unmittelbare Abhängigkeit der Wirksamkeit derselben von diesem ihrem Bewußtseinsgrad zurückschließen.

e. Geräuschempfindungen.

Die Natur der Geräuschempfindungen bildet noch immer ein dunkles Problem der Empfindungslehre, über das die Meinungen weit auseinandergehen. Zum Teil erklärt sich das aus der verwickelten und überaus mannigfaltigen Natur der Geräusche, die eine ähnliche Einordnung in ein einfaches Kontinuum, wie sie für die Tonempfindungen und demnach auch für die unmittelbar in sie aufzulösenden zusammengesetzten Klangvorstellungen möglich ist, von vornherein ausschließen. Zum Teil erklärt es sich aber auch daraus, daß die Frage nach der Natur der Geräuschempfindungen selbst in der Regel sofort mit der andern nach ihrer physiologischen Entstehungsweise vermengt wurde. Nachdem man zu bestimmten Voraussetzungen über die Vorgänge der Tonerregung im Ohre gelangt war, fragte man sich: sind die nämlichen Einrichtungen, die der Aufnahme der Töne und der Zerlegung der Klänge dienen, mutmaßlich auch Apparate der Geräuschempfindung, oder sind spezifische Einrichtungen für diese vorauszusetzen? Die so gestellte Alternative floß dann ohne weiteres mit der andern zusammen: sind die Geräusche

[1] LIPPS, Grundtatsachen des Seelenlebens. 1883, S. 472 ff. Psychologische Studien, 1885, S. 92 ff. 2. Aufl. 1905, S. 115 ff. Tonverwandtschaft und Tonverschmelzung. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 19, S. 1 ff. Zur Kritik der Theorie von LIPPS sowie von STUMPF vgl. außerdem F. KRUEGER, Psychol. Stud. Bd. 1, S. 305 ff. B. 2, S. 205 ff. Bd. 4, S. 201 ff. und unten Kap. XII, 4.

überhaupt eigenartige Empfindungen, oder sind sie in ähnlicher Weise wie die Klänge, nur vielleicht in viel komplizierterer Weise, aus einfachen Tonempfindungen zusammengesetzt? Nun ist klar, daß diese beiden Fragen keineswegs miteinander identisch sind. Denn es ist an sich nicht undenkbar, daß die Geräusche ganz oder teilweise spezifische Empfindungen sind, und daß sie trotzdem in den gleichen Endapparaten und Nerven zustande kommen. Diese Annahme wird erst dann unmöglich, wenn man es als ein unantastbares Dogma ansieht, daß für jede spezifische Empfindung auch ein spezifischer Sinnesapparat und eine spezifische Nervenfaser existieren müsse. Ebensowenig ist aber der Gesichtspunkt entscheidend, daß die mathematische Analyse der Schallbewegungen schließlich jede beliebige Geräuschform in eine Anzahl sich unregelmäßig durchkreuzender oder von Moment zu Moment wechselnder Sinuswellen zerlegen kann. Denn die Tatsache, daß bei verhältnismäßig einfachen und regelmäßigen Klangbewegungen unser Ohr eine analoge Klanganalyse in der Empfindung vornimmt, beweist nicht, daß diese Analogie über die Grenzen hinaus, innerhalb deren sie nachweisbar ist, gültig bleiben müsse. Offenbar ist demnach hier der gewöhnlich in der Physiologie beschrittene Weg umzukehren. Wir haben nicht zuerst zu fragen: gibt es besondere Geräuschapparate, um dann je nach der Antwort zu entscheiden, was die Geräusche als subjektive Empfindungen sind; sondern wir haben zuerst zu fragen: was sind die Geräusche ihrer rein subjektiven Beschaffenheit nach? Ob für diese Empfindungen besondere Endorgane im Ohr existieren oder nicht, das bleibt dann eine spätere Sorge.

Stellt man die Frage so, und sucht man sich demnach vollkommen unbefangen über das Rechenschaft zu geben, was in den Empfindungen verschiedener Geräusche enthalten ist, so kann nun die Antwort kaum zweifelhaft sein. Weitaus in den meisten Fällen erscheint das Geräusch als ein zusammengesetztes Gebilde, und in der Regel ist ein Ton, oder sind mehrere, manchmal rasch wechselnde Töne in demselben zu unterscheiden. Aber daneben bleibt doch ein unanalysierbarer, bei den verschiedenen Geräuschen und manchmal bei einem und demselben Geräusch in dessen aufeinanderfolgenden Phasen wechselnder Bestandteil, der nicht in einzelne Töne zerlegbar ist, dem wir aber meist eine gewisse allgemeine Tonlage anweisen. Er erscheint uns ebenfalls in einem gegebenen Zeitmoment einfach, unterscheidet sich aber von dem einfachen Ton durch eine unbestimmtere Tonlage, und häufig auch darin, daß er von Moment zu Moment wechselt. Eine solche Geräuschempfindung, zugleich in Verbindung mit begleitenden Tönen, läßt sich in sehr vollkommener Weise bei dem Phänomen der Schwebungen erzeugen, wenn

man zwei Töne in einer mittleren musikalischen Lage, etwa zwischen c^1 und c^2, um 20 bis 30 Schwingungen gegeneinander verstimmt: man hört dann die zwei Töne nebeneinander, nur wird in größeren Pausen der eine vom andern ausgelöscht oder bei abwechselndem Hinhören aus dem Blickpunkt der Aufmerksamkeit verdrängt; aber neben den Tönen hört man das nicht in Töne zerlegbare, eine unbestimmtere Tonhöhe einhaltende Schwebungsgeräusch. Ähnlich verhalten sich, nur in der Regel mit weniger deutlicher Ausprägung der begleitenden reinen Tonempfindung, die meisten andern dauernden Geräusche. Sie sind tatsächlich Mischungen aus Ton und Geräusch. In diesen Mischungen kann der spezifische Geräuschbestandteil in der Zeit wechseln, in einem gegebenen Moment aber erscheint er im Gegensatz zu den mit ihm verbundenen Tonerregungen als eine einfache, nicht analysierbare Empfindung, die jedoch, auch wenn sie ohne bestimmte begleitende Tonempfindungen vorkommt, in der Regel noch darin eine Beziehung zu den Tönen erkennen läßt, daß sie in jedem Moment jene oben erwähnte allgemeine Tonlage besitzt. Aus der innigen Verbindung, welche diese spezifischen Geräusch- mit Tonempfindungen eingehen, erklärt es sich wohl, daß die sprachlichen Bezeichnungen der Geräusche ähnlich unvollständig sind wie die der Klänge. Aber während bei diesen die musikalische Notenbenennung einen elementaren Hauptbestandtheil, den Grundton, herausgreift, sind die Namen der Geräusche onomatopoetische Wortbildungen, auf die ebensowohl die Ton- wie die eigentlichen Geräuschelemente Einfluß gewonnen haben: so in Ausdrücken wie zischen, rollen, knurren, sausen, plätschern, gurgeln, klatschen usw.

An die Einordnung der Geräuschqualitäten in ein bestimmtes Empfindungssystem, welches den Tonempfindungen gegenübergestellt werden könnte, läßt sich demnach nicht denken. Da wir auch den der eigentlichen Tonelemente entbehrenden Geräuschen gewisse Tonlagen anweisen, so scheint ein solches System immer wieder auf die Tonempfindungen zurückzuführen. Gerade in jenen Mischungen aus Ton und Geräusch, als die uns die meisten wirklichen Geräusche entgegentreten, lassen sich nun aber auch die Geräusche als Empfindungen oder als Verbindungen von Empfindungen auffassen, die in ihrer subjektiven Beschaffenheit durchaus dem objektiven Zusammenwirken der zugehörigen Reize entsprechen. Eine beliebig unregelmäßige Schwingungsbewegung, wie sie oben die Fig. 170 (S. 70) als Substrat eines Geräusches veranschaulicht, läßt sich in der Regel noch in Bestandteile von Sinuskurven zerlegen, die einen hinreichend langen Verlauf zeigen, um als Tonerregungen wirken zu können. Daneben enthält sie aber stets noch andere Bewegungsbestandteile, die nur als irreguläre Impulse wirken können,

weil sie, in Sinuskurven aufgelöst, fortwährend wechselnde und intermittierende pendelartige Bewegungen ergeben würden. Diese irregulären Impulse werden wir demnach als die physikalischen Substrate der eigentlichen Geräuschempfindung betrachten dürfen. Da nun aber auch diese letzteren bei den meisten Geräuschen in jedem Moment eine gewisse Tonlage erkennen lassen, so spricht dies offenbar für ein gemeinsames Substrat der Ton- und Geräuschempfindungen. Wie dem Ton eine distinkte, so scheint dem Geräusch eine diffuse Erregung zugrunde zu liegen, die als solche an die Stelle der bestimmten Tonhöhe nur eine unbestimmte Tonlage treten läßt. Indem nun aber diese letztere in gewissen Grenzfällen so unbestimmt sein kann, daß selbst die allgemeinsten Bezeichnungen hoch und tief für sie unanwendbar werden, bleibt für solche des Toncharakters völlig entbehrende Geräusche natürlich eine doppelte Deutung möglich: sie können entweder auf einer besonderen, von der der Töne verschiedenen Erregungsform beruhen; oder jene diffuse Form der Erregung, die den Geräuschen überhaupt eigen ist, kann schließlich einen Grad der Ausbreitung erreichen, bei dem die Beziehung auf irgend eine Tonlage überhaupt unmöglich wird. Welche dieser Annahmen die wahrscheinlichere sei, darüber wird schließlich die allgemeine Theorie der Gehörsempfindungen zu entscheiden haben.

Indem die Physiologie die Untersuchung der subjektiven Eigenschaften der Geräuschempfindungen über der Frage nach dem Ort ihrer Entstehung und nach den Beziehungen der Geräuscherregung zur Tonerregung fast völlig vernachlässigte, ist die Entwickelung der Lehre von den Geräuschen im Grunde lediglich ein Spiegelbild der wechselnden Anschauungen, die hinsichtlich der schallperzipierenden Apparate im Gehörorgan und der Bedeutung der einzelnen Teile des Labyrinths herrschend waren. So stellte HELMHOLTZ in der ersten Auflage seiner Lehre von den Tonempfindungen dem CORTIschen Organ der Schnecke die Apparate der Ampullen und der Bogengänge als die mutmaßlichen Geräuschapparate gegenüber. Dieselbe Auffassung wurde dann namentlich noch von PREYER im Hinblick auf die wahrscheinliche Entwickelung der Schallempfindungen im Tierreich vertreten[1]. Als später die Zurechnung des Bogenlabyrinths zum Gehörorgan zweifelhaft wurde, wendete sich jedoch HELMHOLTZ mit den meisten Physiologen der Meinung zu, das Geräusch sei physiologisch wie physikalisch als eine Summe einander störender Tonerregungen aufzufassen. Vom Standpunkt einer strengen Durchführung des Prinzips der spezifischen Energien behaupteten dann besonders EXNER und BRÜCKE die Einerleiheit nicht nur von Tonapparaten und Geräuschapparaten, sondern auch von Tonempfindungen und Geräuschempfindungen[2]. So wurde im ganzen die Ansicht die herrschende, daß eine Geräuschempfindung nichts

---

[1] PREYER, Akustische Untersuchungen. 1879, S. 38.

[2] EXNER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, 1876, S. 228 BRÜCKE, Wiener Sitzungsber., 3, Bd. 90, 1886, S. 199.

anderes als eine Summe »sich störender Tonempfindungen« sei. Hierbei hat man nun aber offenbar den unbestimmten teleologischen Begriff der »Störung« an die Stelle dessen gesetzt, was die wirkliche Beobachtung als den nach Abzug der Tonelemente bleibenden Rest ergibt, einen teleologischen Begriff, der nicht sowohl der Analyse der Geräuschempfindungen selbst, als der mathematisch-physikalischen Analyse der Schallwellen entnommen ist. BRÜCKE vollends führte geradezu den embarras de richesse ins Feld, dem man sich preisgegeben sehe, wenn man auch für die Geräusche spezifische Apparate annehmen wollte. Für die Töne, meint er, sei ja die Zahl spezifischer Fasern noch einigermaßen absehbar. Wenn aber von den unendlich vielen möglichen Geräuschen jedes seinen eigenen spezifischen Nerven haben sollte, so würde das ein unvollziehbarer Gedanke. Er hatte dabei offenbar außer acht gelassen, daß dieselbe Verlegenheit im Grunde schon den Geruchsempfindungen gegenüber existieren würde. Alle diese Erwägungen behandeln das Problem so, als wenn sich die Erscheinungen nach den Hypothesen, nicht umgekehrt unsere Hypothesen nach den Erscheinungen zu richten hätten. Darum wird man A. DENNERT recht geben können, wenn er bemerkt, spezifische Geräuschapparate seien vom physikalischen Standpunkte aus deshalb nicht erforderlich, weil sehr wohl ein einzelner Impuls oder auch ein unregelmäßiger Anstoß irgendwelche auf Töne abgestimmte Apparate erregen könne[1]. Dies gilt auch für den Knall, der als annähernd momentanes Geräusch am schwersten auf eine bestimmte Tonhöhe zurückzuführen ist, und für den daher HENSEN einen von dem Organ der Tonempfindungen verschiedenen physiologischen Endapparat vermutet[2]. Denn eine gewisse Tonlage läßt auch der Knall nicht vermissen. Selbst wenn man unter die oben (S. 89) angegebene Schwelle von ca. 2 Schwingungen herabgeht, scheint die Unmöglichkeit, diese Tonlage zu bestimmen, mehr von der immer diffuser werdenden Tonqualität sowie von der sehr kurzen Dauer der Empfindung als von einer spezifisch verschiedenen Qualität der letzteren herzurühren. Übrigens schließt auch die Erregbarkeit irgendeiner Nervenfaser durch einen Ton von bestimmter Höhe an sich nicht aus, daß dieselbe Faser, wenn sie von einem unregelmäßigen Impuls getroffen wird, anders reagiert, als wenn regelmäßige Tonschwingungen auf sie wirken. Vielmehr beruht die Annahme einer Identität der Empfindung in beiden Fällen bereits auf der Hypothese einer unveränderlichen spezifischen Energie.

f. Theorie der Gehörsempfindungen.

Die früher, bei Erörterung der Struktur des Gehörorgans und ihrer Bedeutung für die Funktion, ihrem allgemeinsten Inhalt nach dargelegte Resonanzhypothese ist der erste erwähnenswerte Versuch, über die Phänomene des Hörens auf Grund der akustischen Einrichtungen des Gehörorgans Rechenschaft zu geben[3]. Das bei dieser Hypothese ursprünglich maßgebende Motiv war ausschließlich die Tatsache der sogenannten Klang-

[1] DENNERT, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 41, 1896, S. 109 ff.
[2] HENSEN, Ber. der Berliner Akad. 1902, Nr. 38.
[3] Vgl. Bd. 1, S. 475 ff.

analyse; und diese ist auch heute noch ihre wichtigste Grundlage, weil keine der sonst versuchten Deutungen imstande ist, in gleich einfacher Weise im Anschluß an allgemeingültige akustische Gesetze jene Tatsache begreiflich zu machen. Aber, so wichtig diese Übereinstimmung sein mag, die Klanganalyse ist doch nicht das einzige Phänomen, das eine physiologische Theorie der Gehörsempfindungen erklären soll. Es erhebt sich daher am Schlusse dieser Übersicht über die Ton-, Klang- und Geräuschempfindungen und ihre Beziehungen zueinander die Frage, ob und in welcher Weise die Resonanzhypothese auch von den übrigen Erscheinungen dieses Sinnesgebietes Rechenschaft zu geben vermag, oder ob, weil sie das nicht tut, mit ihr irgend welche Veränderungen vorgenommen werden müssen, wenn man nicht etwa gar genötigt sein sollte, sich nach einer ganz andern Grundlage umzusehen. Es sind aber, abgesehen von jenem zunächst ausschließlich für die Hypothese bestimmend gewesenen Phänomen der Klangzerlegung im Ohr, wesentlich zwei Erscheinungen, an denen sich die allgemeinere Brauchbarkeit derselben bewähren muß: die Schwebungen der Töne, und die Kombinationstöne, namentlich die Differenztöne. Alles übrige ist diesen beiden Hauptpunkten gegenüber von untergeordneter Bedeutung oder wird sich im Zusammenhang mit diesen Hauptfragen voraussichtlich von selbst erledigen.

Nun sind die Schwebungen, insoweit sie ihrem allgemeinen Charakter nach in Intermissionen der Empfindung bestehen, physikalisch in den entsprechenden Interferenzwirkungen der Tonwellen begründet, und sie fügen sich daher ohne weiteres in die Resonanzhypothese ebenso ein, wie sie sich wohl in jede andere Vorstellungsweise einfügen würden: die intermittierenden Impulse müssen auch intermittierende Empfindungen hervorbringen, bis zu der Grenze, bei der vermöge der allgemeinen Eigenschaften der nervösen Prozesse und der Bewußtseinsvorgänge schließlich überall eine Reihe diskontinuierlicher Eindrücke in eine kontinuierliche Empfindung übergeht. Aber das Phänomen der Schwebungen bietet in seinen oben (S. 100) unterschiedenen Stadien noch einige Besonderheiten, die sich aus diesen physikalischen Bedingungen nicht ohne weiteres ableiten lassen, und deren Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit der Resonanzhypothese daher vor allem der Prüfung bedarf. Bei dieser Prüfung wird nun als eine im Grunde stillschweigend schon in jener Hypothese enthaltene Voraussetzung die anzusehen sein, daß selbst eine einfache Sinuswelle niemals bloß auf eine einzige lineare Querfaser der Grundmembran erregend einwirkt, sondern daß sie ein gewisses, zwar beschränktes, jedoch immerhin eine merkliche Ausdehnung besitzendes Gebiet in Anspruch nimmt. Denken wir uns, in Fig. 184 bezeichne die Horizontale *a b* einen

Ausschnitt aus der Grundmembran ihrer Längenrichtung nach, so wird also ein Ton, auf den die Faser *c* abgestimmt ist, nicht diese Faser allein in Schwingungen versetzen können, sondern es wird stets ein ganzer Membranabschnitt *a b* mitschwingen, der beiderseits *c* umgibt. Physikalisch ist diese Ausbreitung der Schwingungen zunächst dadurch verursacht, daß irgend ein schwingender Körper, z. B. eine Saite, einen andern, der auf einen wenig verschiedenen Ton abgestimmt ist, in einem mit der Tondifferenz rasch abnehmenden Grade zu Mitschwingungen erregt. Diese Ausbreitung der Sinuswelle würde also selbst dann eintreten, wenn die Grundmembran aus einzelnen, ganz voneinander getrennten Saiten bestünde. Da das aber nicht der Fall ist, sondern da sie zwar nach den Untersuchungen von HENSEN in der Quere stärker als in der Länge gespannt ist, aber immerhin auch hier kontinuierlich zusammenhängt, so wird man annehmen dürfen, daß dieses physiologische Moment die Ausbreitung der Schwingungen begünstigen werde. Ihr wirkt nun allerdings wohl die rasche Dämpfung entgegen, welche die Schwingungen nach dem Aufhören des objektiven Tons mutmaßlich durch die aufgelagerten CORTIschen Bogen erfahren, und auf die sich aus der relativ kurzen Nachdauer der Tonerregungen zurückschließen läßt (Bd. 1, S. 425)[1]. Hiernach wird sich der Ablauf der Schwebungserscheinungen mit wachsender Distanz der schwebenden Töne voraussichtlich in der folgenden, durch die Fig. 185 veranschaulichten Weise gestalten. Liegen die beiden Töne einander sehr nahe wie in *A*, so fließen die beiden Schwingungen vollständig in eine einzige zusammen, die auf der Basilarmembran zwar einen etwas größeren Raum einnimmt, als jeder der Einzeltöne für sich tun würde, aber merklich verschiedene Tonempfin-

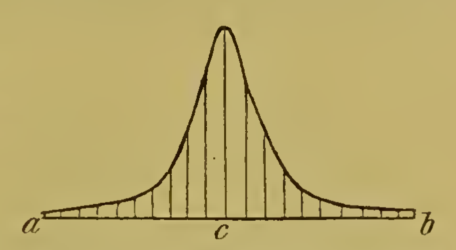


Fig. 184. Hypothetische Ausbreitung der Tonschwingungen in der Längenrichtung der Grundmembran.

---

[1] HELMHOLTZ hat aus dieser Nachdauer beim Trillern die Ausdehnung der Erregung ihrer relativen Stärke nach innerhalb des Intervalls eines Ganztones berechnet, indem er mathematisch nachwies, daß mit der Schnelligkeit der Dämpfung auch die Stärke des Mitschwingens der benachbarten Teile abnehmen müsse. Unter der Annahme, daß beim Trillern ein Wechsel der Töne bei der Geschwindigkeit von 1/10 Sek. noch hörbar sei, ergibt sich so z. B. die Intensität des Mitschwingens bei der Tondistanz von 0,1 eines Ganztons auf 74, bei dem Halbton auf 10, bei dem Ganzton auf 2,7 Proz. (Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 237). Hiernach hat HELMHOLTZ die Ordinaten der oben nach ihm reproduzierten Fig. 184 bestimmt. Da in Wahrheit die Trillerschwelle erheblich tiefer liegt (bei etwa 1/30 Sek.), und da bei dem Wechsel entfernterer Töne, bei musikalischen Figuren, die gleiche Schwelle gefunden wurde (s. oben S. 111), so sind freilich die Voraussetzungen dieser Berechnung nicht mehr zu halten, und wahrscheinlich beruht das Ineinanderfließen rasch folgender Töne überhaupt nicht sowohl auf peripheren als auf zentralen Bedingungen. An dem durch die Fig. 184 veranschaulichten allgemeinen Charakter der Ausbreitung der Tonerregungen auf der Grundmembran wird aber dadurch nichts wesentliches geändert.

dungen so lange nicht hervorbringen kann, als die Entfernungen des Gipfelpunktes t der resultierenden Kurve von den beiden Einzeltönen unter der Unterschiedsschwelle liegt. Dabei ist überdies zu beachten, daß diese Schwelle für simultane Töne, wenn man von der Beurteilung nach den Schwebungen absieht, erheblich größer ist als für sukzessive. Treten die beiden Töne etwas weiter auseinander (B), so ändern sich die Erscheinungen in doppelter Hinsicht. Erstens folgen sich die objektiven Interferenzen so rasch, daß das An- und Abschwellen des Tons unbemerkbar wird: das Stadium der Tonstöße beginnt. Zweitens greifen die beiden Wellen zwar auf der Resonanzmembran noch stark übereinander, aber ihre Gipfelpunkte sind bereits so weit entfernt, daß diese Distanzen die Unterschiedsschwelle überschreiten. Damit tritt zugleich eine bei der Distanz A noch verschwindende Erscheinung hervor: die Entstehung einer aus der Interferenz der Wellen auf der Basilarmembran

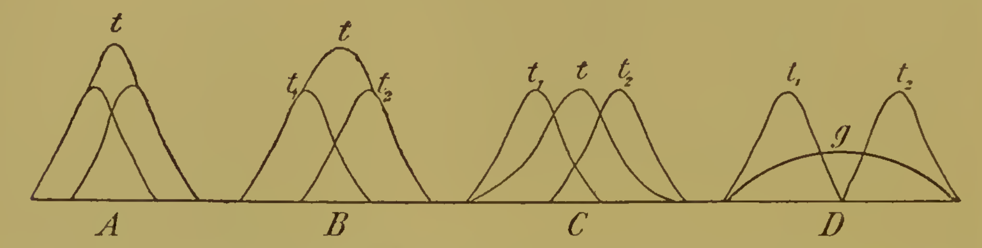


Fig. 185. Schematische Darstellung der Interferenzphänomene der Grundmembran bei wachsender Distanz zweier schwebender Töne.

resultierenden Schwingungsbewegung, welche da ihr Maximum hat, wo sich die beiden Wellenkurven schneiden. Je näher sich t_1 und t_2 sind, um so höher ist die relative Stärke dieser resultierenden Welle t, um so mehr regt sie aber auch die Membranteile rechts und links zu Mitschwingungen in gleicher Periode an; auch jetzt entstehen daher nicht drei Töne, sondern es ist nur ein einziger zu hören, der die Schwebungen trägt, und dessen Höhe zwischen den Primärtönen in der Mitte liegt. So entsteht das Phänomen der Tonabsorption. Es ist ein physikalisch-physiologischer Vorgang, den man objektiv nachahmen kann, wenn man zwei stark schwingende Stimmgabeln oder zwei Labialpfeifen von sehr geringem Unterschied der Schwingungszahlen nebeneinander stellt, wo sich ebenfalls die beiden Schwingungen zu einem einzigen Ton von mittlerer Schwingungszahl kompensieren können[1]. Geht man dann abermals um einen Schritt weiter in der Vergrößerung der Tondistanz (C), so bleibt der resultierende Zwischenton zunächst noch erhalten; zugleich

[1] Lord RAYLEIGH, Phil. Mag. 1879, vol. 7, p. 158.

weichen aber die beiden Primärtöne so weit voneinander ab, daß sie selbständige Tonerregungen bewirken. Neben dem Zwischenton treten also auch die primären Töne hervor. Gleichwohl wirken auch jetzt noch die verschiedenen in den Nachbarteilen der Resonanzmembran ablaufenden Schwingungen aufeinander ein, indem vorübergehend der eine Ton den andern durch Interferenzwirkungen der Wellen der Grundmembran auslöscht. Auch zu diesem Phänomen kann man ein objektives Analogon erzeugen, wenn man eine schwingende Stimmgabel auf eine andere einwirken läßt, mit der sie sich nicht mehr auf die Dauer unisono einstellen kann. Dann löscht sie abwechselnd deren Schwingungen aus und läßt sie wieder hervortreten: läßt man die gestörte Gabel ihre Kurve aufzeichnen, so erhält man das in Fig. 186 in der unteren Wellenlinie dargestellte Bild. Dabei folgen die Interferenzpausen regelmäßig in bestimmten längeren, von der Schwingungsdifferenz abhängigen Perioden aufeinander[1].

Fig. 186. Wellenkurven einer durch Resonanz mitschwingenden Stimmgabel; die obere Kurve bei gleicher Schwingungszahl mit dem erregenden Primärton von 500 Schw., die untere bei einer Schwingungsdifferenz von 10 Schw., von der Gabel selbst aufgezeichnet.

Rücken endlich die Schwingungen der Primärtöne so weit auseinander, daß zuerst nur noch kleine Teile ihrer Kurven auf der Basilarmembran zusammenfallen, und diese zuletzt ganz auseinandertreten, so erhält man das letzte Stadium (*D*). Die beiden Primärtöne werden jetzt in Wahrheit kontinuierlich gehört, der Schein einer Diskontinuität entsteht nur noch durch das Herüber- und Hinüberwandern der Aufmerksamkeit; der Zwischenton ist völlig verschwunden, weil die durch die Interferenz der Schwingungen auf der Basilarmembran entstehende resultierende Bewegung ein selbständiges Maximum nicht mehr besitzt, sondern sich als diffuse und durch die Interferenzen der beiden Wellen fortwährend intermittierende Bewegung *g* über ein weites, einem größeren Ausschnitt der Tonlinie entsprechendes Gebiet der Basilarmembran erstreckt. Diese diffuse Bewegung wird man demnach als das Substrat der Geräuschempfindung

[1] Besser als durch Stimmgabeln, die durch Streichen in Schwingung versetzt werden, wo das zu schnelle Ausklingen im Wege steht, kann man die Erscheinung mittels elektrisch erregter Gabeln hervorbringen, wenn man direkt die durch die Schwingungen der einen Gabel erzeugten Stromunterbrechungen auf die andere, auf einen etwas verschiedenen Ton abgestimmte und ebenfalls mit einer elektromagnetischen Armatur versehene einwirken läßt. Auf diesem Wege sind auch die in Fig. 186 abgebildeten Kurven gewonnen worden.

betrachten können, die sich mit den daneben zu hörenden primären Tönen verbindet. Doch wird besonders dieses letzte Stadium durch die sich beimengenden Differenztöne und ihre Schwebungen erheblich kompliziert. Darum ist nun aber auch der Übergang zu demjenigen Stadium, wo die Interferenzerscheinungen des Resonanzapparates selbst völlig verschwinden, schwer zu verfolgen. Denn sobald die primären Töne zueinander dissonant sind, machen sich nun um so mehr Schwebungen und Tonstöße zwischen den Differenztönen geltend.

Das Phänomen der Schwebungen im ganzen, mit allen den Eigentümlichkeiten, die es in seinen verschiedenen Stufen darbietet, läßt sich hiernach vollkommen befriedigend aus den Voraussetzungen der Resonanzhypothese ableiten. Nur müssen dabei die im Resonanzapparat selbst, teils durch das direkte Übereinandergreifen der Schwingungen, teils durch die wechselseitige Beeinflussung derselben entstehenden Interferenzphänomene mit berücksichtigt werden. Unterscheiden wir diese, im Gegensatze zu den objektiven, außerhalb des Gehörorgans entstehenden Schwebungen, als die subjektiven Interferenzerscheinungen, so läßt sich daher die Gesamtheit der Schwebungsphänomene als eine Reihe von Vorgängen definieren, die durch das Ineinandergreifen der objektiven und subjektiven Toninterferenzen bedingt sind, und deren Charakter in der Empfindung von dem wechselnden Verhältnis abhängt, in dem je nach der Tondistanz der interferierenden Töne diese beiden Interferenzwirkungen zueinander stehen.

Wesentlich anders verhält es sich mit der zweiten Erscheinung, über welche, abgesehen von der Tatsache der subjektiven Klangzerlegung, die Theorie der Gehörsempfindungen Rechenschaft geben muß: mit den Kombinationstönen. Die objektiven Differenztöne bereiten hier natürlich keinerlei Schwierigkeit; sie liegen, als äußere Klangbestandteile, ebenso wie das Schwebungsphänomen in seinem ersten, noch nicht durch die subjektiven Interferenzerscheinungen komplizierten Stadium, sozusagen außerhalb des Streits der Hypothesen. Um so bedeutsamer sind die subjektiven Kombinationstöne. Der Annahme, daß sie durch resultierende Schwingungen in den Gebilden des Mittelohres entstehen, die HELMHOLTZ theoretisch zu begründen suchte, stehen, wie schon oben bemerkt, zwei gewichtige Tatsachen entgegen: erstens die nicht selten bedeutende Stärke dieser Töne, und zweitens ihr Vorkommen in Fällen, wo Trommelfell und Gehörknöchelchen infolge einer Erkrankung des Mittelohres entfernt worden waren. Gleichwohl wird man in dem Scheitern dieses Erklärungsversuchs einen Gegenbeweis gegen die Resonanzhypothese selbst noch nicht erblicken dürfen, sondern eben nur einen Gegenbeweis

gegen diese spezielle Hilfshypothese, die an sich von ihr unabhängig ist. Nachdem diejenigen Erscheinungen, die als direktere Gegeninstanzen gelten konnten, die Intermittenztöne und die sogenannten Stoßtöne, mit größter Wahrscheinlichkeit selbst als Differenztöne nachgewiesen sind, konzentriert sich vielmehr das ganze Problem auf die Frage: ist die Entstehung der subjektiven Kombinationstöne, falls sie mit der Resonanzhypothese vereinbar sein soll, an die Bildung resultierender Wellen in den Gebilden des Mittelohrs oder überhaupt in Teilen, die vor der Resonanzmembran liegen, gebunden; oder ist sie das nicht, ist es vielmehr auch denkbar, daß jene Töne in Labyrinthteilen jenseits des Resonanzapparates entstehen? Diese Fragen führen unmittelbar auf die beiden Vorstellungen zurück, die früher schon bei der Erörterung der Beziehungen zwischen Struktur und Funktion als die zwei möglichen Auffassungen über die Stellung des Resonanzapparates hervorgehoben wurden (Bd. 1, S. 477). Hat sich der Resonanzapparat nach der Natur der nervösen Elemente eingerichtet, deren spezifische Energien die Tonempfindungen sind? Oder haben sich umgekehrt die Eigenschaften der nervösen Elemente den besonderen Bedingungen der peripheren Tonerregung angepaßt, zu denen auch die Entwickelung des Resonanzapparates und die durch ihn vermittelte Verteilung der Tonerregungen gehörte? Hält man an der ersten dieser Annahmen fest, so ist damit notwendig gefordert, daß die subjektiven Differenztöne, gerade so wie die objektiven, vor dem Resonanzapparat entstehen müssen. Die Annahme der spezifischen Energien war daher sichtlich auch für HELMHOLTZ der Grund für die Aufstellung seiner Mittelohrhypothese. In der Tat läßt sich dann, außer an die Gebilde des Mittelohrs, kaum an etwas anderes denken, sofern es nicht etwa die Labyrinthflüssigkeit sein sollte, die aber physikalisch offenbar weit ungünstigere Bedingungen für die Entstehung solcher Superpositionswellen darbietet, als starre Körper oder ausgespannte Membranen[1]. Schlägt man sich dagegen in der oben aufgestellten Alternative auf die zweite Seite, nimmt man also an, daß von den Akustikusfasern, wie das ja ohnehin die oben durch die Fig. 184 erläuterte Ausbreitung der einfachen Tonerregung über ein gewisses Fasergebiet erforderlich macht, jede innerhalb einer gewissen Breite auf bestimmte Tonhöhen reagiere, weil sich dem betreffenden Abschnitt des Resonanzapparates der Ver-

[1] Die Idee, daß die Labyrinthflüssigkeit der Sitz der die Kombinationstöne erzeugenden Superposition der Schwingungen sei, ist in der Tat übrigens neuerdings durch K. L. SCHÄFER PFLÜGERS Archiv, Bd. 78, 1900, S. 505 ff.) ausgesprochen worden. Für so glücklich ich nun den Gedanken halte, daß der Sitz der Kombinationstöne im Labyrinth, nicht vor dem Labyrinth zu suchen sei, so sehr scheinen mir doch die sonstigen Motive berechtigt zu sein, die HELMHOLTZ nach festen Körpern als den Substraten dieser Erscheinungen suchen ließen.

lauf der molekularen Vorgänge in ihr angepaßt hat, so werden wir zwar fortan die Schwingungen dieses Apparates als die Hauptursachen der Tonerregung, wir werden sie aber keineswegs als die ausschließlichen ansehen dürfen. Vielmehr werden auch jenseits desselben, beim Verlauf der Nervenfasern in den Knochen des Labyrinths, Schwingungen von einer bestimmten Tonhöhe die auf sie abgestimmten Fasern vorzugsweise erregen, und es werden so ohne direkte Beteiligung des Resonanzapparates Tonempfindungen entstehen können. Erwägt man nun einerseits die Leichtigkeit, mit der Schallwellen in den Schädelknochen sich fortpflanzen, und beachtet man anderseits die eigentümliche Struktur der Spindel der Schnecke mit ihrer Aufsplitterung und Einlagerung der Nervenfäden zwischen feine Knochenlamellen (Bd. 1, Fig. 135, S. 471), so muß man zugestehen, daß diese Einrichtung ebenso sehr dazu angetan scheint, Schwingungen der Labyrinthknochen auf die Akustikusfasern fortzupflanzen, wie diese letzteren den verschiedenen Teilen der Basilarmembran zuzuführen. Entstehen die Kombinationstöne durch die Superposition der Schwingungen in den Knochen des Labyrinths, so läßt sich aber daraus insbesondere auch die große Stärke der subjektiven Differenztöne in manchen Fällen verstehen. Eine solche wird namentlich immer dann eintreten, wenn die Zuführung der Schwingungen durch Knochenleitung relativ begünstigt ist gegenüber der Zuleitung durch die Labyrinthflüssigkeit. Darum hört man wohl die Töne überhaupt, und namentlich auch die Differenztöne besonders stark, wenn man schwingende Stimmgabeln direkt auf den Schädel aufsetzt; und nicht minder werden die Differenztöne vorzugsweise dann stark gehört, wenn die primären Töne schwach sind und zugleich dissonieren. In diesem Fall ist offenbar die direkte Wirkung der Schwingungen der Basilarmembran auf die unterliegenden Nervenfasern eine geringe; aber indem diese Schwingungen selbst auf das feste Gerüste der Schneckenspindel von den Anheftungsstellen der Membran aus übergehen, indes zugleich die Schallwellen direkt auf den Knochen einwirken, kann der Gesamteffekt den der Reizung im Resonanzorgan selbst übertreffen.

In den oben über die physiologischen Grundlagen der Schwebungsphänomene entwickelten Vorstellungen ist schließlich im wesentlichen schon der Weg zur Beantwortung der letzten auf diesem Gebiet sich erhebenden Frage angedeutet: zu der nach dem Wesen der Geräuschempfindungen. Wenn wir hier von den mit den meisten Geräuschen verbundenen Tonelementen absehen, deren Beziehung zu den zusammengesetzten Geräuschbildungen uns bei der Betrachtung der komplexen Geräuschvorstellungen (in Kap. XII) beschäftigen wird, so bleiben als reine

Geräuschelemente nur zwei Formen übrig. Die erste wird durch jene Geräusche gebildet, denen wir eine mehr oder minder bestimmte Tonlage geben. Von ihnen wird man wegen ihrer Beziehung zur Tonhöhe ohne weiteres annehmen dürfen, daß sie, gleich den Tonempfindungen, im Resonanzapparat entstehen; und ihre Deutung ergibt sich hier unmittelbar aus jenen Interferenzphänomenen, die sich auf der Grundmembran entwickeln müssen, sobald Tonwellen zusammentreffen, die starke, über ein relativ ausgedehnteres Gebiet sich erstreckende Schwebungen bilden. Die Fig. 185 *D* erläuterte bereits diesen Übergang des Schwebungsphänomens in das Geräusch von bestimmter Tonlage. Die zweite Form von Geräuschen entbehrt dieser Beziehung auf eine bestimmte Tonlage. Bei ihr würde es natürlich an sich wohl möglich sein, daß andere physiologische Substrate als die tonerregenden die Träger dieser Empfindungen seien. Doch der Umstand, daß diese »reinen Geräusche« offenbar Grenzfälle bilden, zwischen denen und den durch irgendeine Tonlage determinierten alle möglichen Übergänge vorkommen, macht die Beziehung auch dieser Erregungen auf den Resonanzapparat der Tonempfindungen um so wahrscheinlicher, als dieser Auffassung physikalische oder physiologische Schwierigkeiten nicht im Wege stehen dürften. Geräuschempfindungen mit bestimmter Tonlage werden nämlich nur so lange entstehen können, als sich die auf den Resonanzapparat einwirkenden Schallbewegungen immer noch in zureichend große Strecken von Sinusschwingungen zerlegen lassen, die, wenn sie auch noch so unregelmäßig interferieren, doch eine bestimmte Region des Resonanzapparates vorwiegend oder ausschließlich in Anspruch nehmen. Sinken dagegen die Bruchstücke von Sinusschwingungen, in die sich der Schallimpuls zerlegen läßt, unter jene Grenze von 2 Doppelschwingungen, die wir als die Zeitschwelle der Tonerregung kennen lernten (S. 89), so werden zwar noch Erschütterungen des Resonanzapparates stattfinden, diese werden aber auf jede mögliche Stelle desselben, und sie werden, wenn sie sehr stark sind, mutmaßlich auch noch auf die Spindel der Schnecke und die in ihr eingeschlossenen Nervenfasern einwirken können. Demnach entbehrt eine solche Erregung des spezifischen Toncharakters: sie ist ein Schall, aber kein Ton. Das einfachste Beispiel dieser reinen Geräuscherregung sind eben die Empfindungen, die von Tonwellen von einer unter der Zeitschwelle liegenden Dauer erzeugt werden. Darum ist es bemerkenswert, daß auch in der Natur ganz besonders sehr kurz dauernde oder mit sehr großer Schnelligkeit wechselnde Geräusche diesen Charakter der reinen, des Toncharakters entbehrenden Schallempfindung besitzen. Zugleich sind nun aber diese Empfindungen von durchaus einfacher, unzerlegbarer Beschaffenheit. Wenn man sie auf ein Gewirre reiner Tonempfindungen zurück-

führt, wie das geschehen muß, wenn man jeder Akustikusfaser eine spezifische Tonqualität zuschreibt, so ist das eine durchaus willkürliche, der unmittelbaren Beobachtung direkt widersprechende Annahme. Überdies wird diese Annahme eigentlich schon durch die Existenz der Zeitschwelle bei der Einwirkung reiner Sinusschwingungen widerlegt. Denn die Tatsache dieser Zeitschwelle zeigt eben, daß nicht jeder beliebige Anstoß auf einen Teil des Resonanzapparates und seinen zugehörigen Nerven eine bestimmte Tonempfindung auslöst, sondern daß dies erst dann geschieht, wenn eine Schwingungsbewegung von bestimmter Periode in den Endapparaten erzeugt worden ist. Erregungen unterhalb dieser Grenze bringen eine Erregung hervor, die wir als einfaches Geräusch, nicht als einfachen Ton empfinden. Sind aller Wahrscheinlichkeit nach Tonapparate und Geräuschapparate im Ohr identische Gebilde, so schließt dies demnach jedenfalls auch die weitere Voraussetzung ein, daß der Erregungsvorgang in jeder Nervenendigung nicht bloß von der Beschaffenheit dieser Endigung selbst, sondern daß er auch von der Form des sie treffenden Reizes abhängt, indem jede Faser, die durch regelmäßige Schwingungen zu Tonempfindungen erregt wird, bei der Einwirkung momentaner Erschütterungen Geräuschempfindungen vermittelt.

Von der Überzeugung ausgehend, daß die Resonanzhypothese den Schwierigkeiten nicht gewachsen sei, die sich gegen sie von verschiedenen Seiten, namentlich aber aus dem näheren Studium der Kombinationstöne ergeben, sind verschiedene Versuche gemacht worden, sie entweder wesentlich zu verändern, oder aber sie durch völlig abweichende Annahmen über die Natur der Akustikuserregung zu ersetzen. Als verhältnismäßig unerhebliche Modifikationen der Resonanzhypothese können hier diejenigen betrachtet werden, die den Ort der Reizung in die Schwingungen der Cortischen Bogen oder der Deckmembran (Bd. 1, S. 473) verlegen[1]. Da das Motiv hierzu wesentlich in dem Wunsche besteht, in den Hörzellen die Endgebilde zu sehen, die sich zu Substraten »spezifischer Sinnesenergien« eignen, so kann von diesen Modifikationen der Helmholtzschen Theorie hier ebenso abgesehen werden wie von den Einwänden, die mit Rücksicht auf die Kleinheit der Fasern der Grundmembran oder auf deren allzu geringe Breitenunterschiede gemacht worden sind[2]. Sieht man, wie oben geschehen, die Akustikusfasern selbst als die Orte der Reizung an, so bietet jedenfalls deren Ausstrahlung in der Basilarmembran die hierzu geeignetsten Verhältnisse dar, und für die Abstimmung der einzelnen Teile dieser Membran kommt neben deren Länge wesentlich auch der Grad ihrer Spannung in Betracht. Hermann

[1] E. ter Kuile, Pflügers Archiv, Bd. 79, 1900, S. 146 ff.

[2] J. Breuer, Über das Gehörorgan der Vögel, Wiener Sitzungsber. Abt. III, 1907, S. 249 ff. Vgl. übrigens hinsichtlich der die Resonanzhypothese unterstützenden, namentlich auf eine Summierung der Schwingungen in der Grundmembran hinweisenden anatomisch-physiologischen Momente Hensen in den Sitzungsber. der Berliner Akad. vom 24. Juli 1902.

suchte die Resonanzhypothese teilweise beizubehalten, jedoch in dem Sinne zu ergänzen, daß die Kombinationstöne und namentlich die Intensitätsverhältnisse derselben erklärt werden. Er geht davon aus, daß bei der Interferenz zweier Töne neben den Schwebungen neue Töne, »Mitteltöne«, entstehen müßten, die in jeder Schwebungsperiode ein Maximum und ein Minimum zeigten und beim letzteren ihre Phase umkehrten. Solche Mitteltöne sind allerdings in den meisten Fällen (wo sie nicht etwa mit dem oben erwähnten Zwischenton der Schwebungen zusammenfallen) nicht hörbar. HERMANN vermutet aber, daß sie infolge ihres Phasenwechsels Unterbrechungstöne erzeugten, die dann eventuell als Differenztöne gehört werden könnten. Da nun weiterhin in vielen Fällen diese Unterbrechungen an Zahl zu klein sind, um selbst als Töne wahrnehmbar zu sein, so nimmt er an, die Ohrresonatoren würden an sich bereits durch Schwingungen erregt, die weit unter der Grenze der hörbaren Töne liegen, sie wirkten aber nicht direkt, sondern durch Vermittelung gewisser Zellen, die er wegen der Abhängigkeit der in ihnen anzunehmenden »Assimilations- und Dissimilationsvorgänge« von der Zahl der sie treffenden Impulse »Zählzellen« nennt, auf die Akustikusfasern ein. Jede Zählzelle soll einerseits mit einer Akustikusfaser und anderseits mit allen Resonatoren in Verbindung stehen, und sie soll daher durch die sämtlichen Resonatoren erregt werden können, die ihrem Eigenton und den höheren Resonatoren von einem Vielfachen der Schwingungen des ersteren entsprechen. Indem nun das auch für den oben erwähnten Mittelton gelte, soll aus ihm der Kombinationston entstehen. HERMANN nimmt demnach eigentlich zwei hintereinander gelegene Systeme von Resonatoren an, von denen das zweite, das der »Zählzellen«, eine Art Summation der in dem ersten ausgelösten verschiedenen Schwingungsbewegungen und dadurch eine Verstärkung gewisser, in den ersten Resonatoren nur schwach anklingender Tonempfindungen zustande bringe. Da die Dimensionen der Schneckengebilde gegen eine Deutung dieser Resonatorvorrichtungen im mechanisch-akustischen Sinne Bedenken erwecken, so meint aber HERMANN weiterhin, man könne sich vielleicht die Resonatoren, gerade so wie die Zählzellen, statt mit mechanisch-elastischen, mit bestimmten nervösen, d. h. chemischen Eigenschaften ausgerüstet denken[1]. Es scheint mir nicht, daß diese Theorie eine wirkliche Lösung der Schwierigkeiten ist. Abgesehen von der hypothetischen Existenz des Mitteltones, schreibt sie den »Zählzellen« Eigenschaften zu, die man sich mechanisch allerdings kaum verwirklicht denken könnte, und zu denen man irgendein chemisches Substrat offenbar nur deshalb voraussetzen kann, weil der Chemismus der nervösen Vorgänge bis jetzt noch so dunkel ist, daß hier die Hypothesen einen ziemlich uneingeschränkten Spielraum besitzen. Wenn nun aber darum HERMANN auch die eigentlichen Resonatoren nicht sowohl als mechanisch-akustische, denn als chemische Vorrichtungen auffassen möchte, so entzieht er der Resonanzhypothese gerade diejenige Eigenschaft, die bis dahin ihren Vorzug ausmacht: das verhältnismäßig klare mechanische Bild, das sie für die Vorgänge der Akustikusreizung nach Maßgabe der bei ihr stattfindenden Klangzerlegung gewährt. Indem die Theorie den Gehörssinn gewissermaßen in einen chemischen Sinn umwandelt, nimmt sie ihm alles das was sowohl nach der Entwickelungsgeschichte dieses Sinnesgebiets wie nach den Beziehungen zwischen Reiz und

[1] L. HERMANN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 56, 1895, S. 467.

Empfindung eine wesentliche Eigenart desselben auszumachen scheint, ohne dafür nach der Seite der chemischen Erklärung irgendein Äquivalent zu bieten, da es vollkommen dunkel bleibt, in welchen Beziehungen die angenommenen Assimilationen und Dissimilationen in den tonrezipierenden Substanzen zur Tonempfindung selbst stehen.

Mehr auf dem Boden mechanisch-akustischer Betrachtungen steht die Hypothese von R. EWALD. Seine Bedenken richten sich hauptsächlich gegen die Zusammensetzung des Gehörapparates aus einer großen Zahl abgestimmter Resonatoren, die ihm mit den Dimensionen und Gewebseigenschaften der zarten Schneckenmembran schwer vereinbar scheint. Er betrachtet demnach diese Membran als ein durchaus zusammenhängendes und bei allen Klangempfindungen in seinem ganzen Zusammenhang wirkendes Gebilde. Hierbei geht er von folgendem Versuch aus. Spannt man eine dünne Kautschukmembran in ihrer Längsrichtung über einen Holzrahmen, und drückt man dann eine schwingende Stimmgabel mit ihrem Stiel gegen das eine Ende dieser Membran, so bilden sich auf ihr stehende Wellen, die als »Schallbilder« sichtbar werden und in einem gesetzmäßigen Verhältnis zur Höhe des Tons stehen. Sie lagern sich übereinander, wenn man mehrere Töne auf die Membran einwirken läßt. Demnach denkt sich EWALD die Entstehung der Tonempfindungen als eine Wirkung dieser auf der Basilarmembran entstehenden Schallbilder: die räumliche Verteilung der stehenden Wellen und ihrer Knotenlinien soll aber jedesmal in der ihrer Form entsprechenden Weise auf die Enden des Akustikus wirken und so eine der Form der Wellen entsprechende Empfindung hervorbringen[1]. Obgleich diese Hypothese von der Form der Gehörsreizung ein klareres und dem mechanischen Charakter der Reizform adäquateres Bild gibt als die HERMANNsche Theorie der Zählzellen und chemischen Resonatoren, so leidet sie doch an zwei erheblichen Übelständen. Erstens ist es sehr fraglich, ob sich die Erscheinungen an einer der Länge nach geradlinig gespannten Membran auf die schneckenartig gewundene und nach den Ermittelungen von HENSEN mehr der Quere als der Länge nach gespannte Basilarmembran übertragen lassen; und zweitens ist nicht ersichtlich, wie die »Schallbilder«, die auf dieser Membran entstehen, auf die Nervenenden so einwirken können, daß sie in ihnen Erregungen auslösen, die jeweils den Formen jener stehenden Wellen genau entsprechen und dieselben sogar, wie die Phänomene der Klanganalyse zeigen, in ihre Bestandteile, die einfachen Wellen, zerlegen. Man sollte denken, eine solche zusammengesetzte Bewegungsform könne, wenn sie in ihrer Totalität auf die Hörnerven einwirke, auch immer nur eine diffuse Erregung veranlassen, die eine Zerlegung der Empfindung in ihre Elemente unmöglich mache. So ist es denn offenbar gerade die Tatsache, von der die Resonanzhypothese ausgegangen ist, und die in der Tat im Vordergrunde jeder Hörtheorie stehen muß, die Klanganalyse, auf welche die EWALDsche Theorie die Antwort schuldig bleibt[2].

Schon in den vorangegangenen Auflagen des vorliegenden Werkes glaubte ich die Schwierigkeiten, die der Resonanzhypothese aus verschiedenen Er-

[1] EWALD, PFLÜGERS Archiv, Bd. 76, 1899, S. 147.

[2] Das nämliche gilt von einer Hypothese, die MAX MEYER entwickelt hat (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 16 und 17, S. 1 ff., auch abgedruckt in STUMPFs Beiträgen zur Akustik und Musikwiss. 2. Heft, S. 25 ff.).

scheinungen erwachsen, durch die Annahme einer direkten Erregbarkeit der Akustikusfasern durch Schallwellen beseitigen zu können, bei der übrigens immerhin eine Adaptation der Fasern an bestimmte Tongebiete vorausgesetzt wurde. Nachdem die Stoß- und Intermittenztöne mit größter Wahrscheinlichkeit selbst auf Differenztöne zurückgeführt sind, dürften nun aber gerade die eigentümlichen Verhältnisse des knöchernen Schneckenlabyrinths in ihrer Beziehung zur Basilarmembran einer solchen Zurückführung der Kombinationstöne auf die Ausbreitung der Tonwellen in der Schneckenspindel das Wort reden. Freilich ist es dann unerläßlich, daß man das Prinzip der spezifischen Energie in der Weise, in der es Helmholtz bei der ersten Aufstellung der Resonanzhypothese annahm, fallen läßt. Dieser Schritt dürfte aber im vorliegenden Fall um so näher liegen, als Helmholtz selbst an der prinzipiell aufgestellten Forderung, jede Akustikusfaser sei nur auf einen bestimmten Ton abgestimmt, tatsächlich nicht oder doch nur in einer Form festhält, die sie eigentlich psychologisch unmöglich macht. Indem er nämlich erörtert, durch einen einfachen Ton werde immer ein größerer oder kleinerer Abschnitt der Basilarmembran erregt, so daß z. B. nach seinen Voraussetzungen die Größe der Erregung bei einer dem Intervall eines halben Tones entsprechenden Distanz noch $^1/_{10}$ der Haupterregung betragen würde, bleibt nur zweierlei möglich: entweder hören wir in einem einfachen Ton eine Menge ihm benachbarter Nebentöne, oder die Nervenfasern sind in Wirklichkeit nicht fest abgestimmt, sondern innerhalb einer gewissen Breite der Tonhöhen imstande auf verschiedene Schwingungszahlen mit etwas verschiedenen Empfindungen zu reagieren. Da wir nun bei der Einwirkung einfacher Töne, trotz jener, wie namentlich die subjektiven Interferenzerscheinungen bei den Schwebungen zeigen, nicht zu bezweifelnden Ausbreitung der Erregung über einen gewissen Längenabschnitt der Membran, wirklich nur einfache Töne hören, so ist offenbar die zweite Annahme die einzige, welche möglich bleibt. Mit ihr ist aber auch das Prinzip der spezifischen Energien der einzelnen Akustikusfasern oder der einzelnen peripheren und zentralen Endgebilde, mit denen dieselben verbunden sind, durchbrochen: nicht jeder Reiz löst von einer bestimmten Nervenfaser immer nur eine einzige Empfindung aus, sondern mit der Beschaffenheit des Reizes modifiziert sich innerhalb eines gewissen Umfangs die Beschaffenheit der nervösen Prozesse.

Wie die Kombinationstöne mit der Resonanzhypothese vollkommen vereinbar erscheinen, sobald man die in einer bloß äußerlichen Verbindung mit ihr stehende, ja ihr eigentlich von vornherein widerstreitende Hypothese von der spezifischen Abstimmung der Nervenfasern beseitigt, so lassen sich nun schließlich auch gewisse Abnormitäten der Gehörsfunktionen nach ihr am einfachsten deuten. Vor allem gehört hierher die Erscheinung der Tonlücken, die sich zuweilen als Folgezustände pathologischer Vorgänge oder als Alterserscheinungen, neben der Abnahme der Empfindlichkeit für die höchsten und tiefsten Töne sowie meist auch neben dem Symptom der allgemeinen Schwerhörigkeit, vorfinden. Wenn in einzelnen Fällen in der Linie der Tonempfindungen eine Lücke entsteht, jenseits deren die tieferen und die höheren Töne nach ihrer Tonqualität wohl unterscheidbar bleiben, während alle in die Lücke selbst fallenden Tonreize absolut unhörbar sind, so ist diese Erscheinung offenbar am einfachsten aus der Insuffizienz eines Resonanzapparates zu erklären. Alle diejenigen Hypothesen dagegen, die die Empfindung aus der

Form irgendeiner Gesamterregung abzuleiten suchen, bleiben darauf die Antwort schuldig[1].

Die Resonanzhypothese legt schließlich noch eine Frage nahe, die speziell auch in HERMANNS Modifikation derselben hineinspielt: die Frage nämlich, ob Tonschwingungen von einer bestimmten Periode möglicherweise auch solche Resonatoren erregen können, die auf einen Oberton derselben abgestimmt sind. Physikalisch läßt sich diese Möglichkeit um so weniger bestreiten, als man in der Tat imstande ist, objektiv ein solches Mitschwingen von Obertönen zu erzeugen. Wenn man neben eine kräftig schwingende Stimmgabel eine andere, möglichst empfindliche stellt, deren Ton der Oktave oder Duodezime der ersten entspricht, so gerät dieselbe ebenso, nur allerdings erheblich schwächer in Mitschwingungen, wie eine auf den gleichen Ton abgestimmte. Dies geschieht auch dann, wenn an der ersten Gabel keine Spur eines Obertones nachzuweisen ist, oder wenn man der zweiten Gabel die Impulse nicht durch Schallschwingungen, sondern in der Form von elektrischen Stromunterbrechungen eines mit ihr verbundenen Elektromagneten zuführt. Fände ein solches Mitschwingen höherer Resonatoren auch im Gehörorgan statt, so würde also jeder Ton, auch wenn ihm die objektiven Obertöne fehlten, von subjektiven begleitet sein; und diese müßten natürlich auch dann zurückbleiben, wenn man durch die oben beschriebenen Interferenzapparate (Fig. 183, S. 109) jede Spur objektiver Obertöne beseitigte. Da man aber in den so hergestellten einfachen Tönen keine Obertöne mehr hört, so ist daraus zu schließen, daß solche subjektive Obertöne bei unseren Klangempfindungen keine merkliche Rolle spielen. Das nämliche gilt von den »Untertönen«, die HUGO RIEMANN[2] in den musikalischen Einzelklängen annahm. Bei ihnen versagt auch der physikalische Versuch, sie objektiv zu erzeugen. Man ist niemals imstande, eine tiefere Stimmgabel durch einen ihrer nächsten Obertöne zum Mitschwingen zu bringen. Diese Frage der subjektiven Ober- und Untertöne ist deshalb nicht ohne Bedeutung, weil diese hypothetischen Töne in der Theorie der Konsonanz eine gewisse Rolle gespielt haben. (Vgl. unten Abschn. III, Kap. XII.) Eine weitere Frage, die zum Teil mit der Resonanzhypothese zusammenhängt, ist die, ob die Geräuschempfindungen eine selbständige Klasse von Schallqualitäten bilden oder nicht. Während Physiologen und Psychologen, wie PREYER, STUMPF u. A. meist geneigt waren, diese Frage bejahend zu beantworten und dem entsprechend spezifische Endapparate, namentlich die Hörhaare der Ampullen für sie in Anspruch zu nehmen, ist in neuerer Zeit namentlich auch unter den Ohrenärzten die Ansicht die vorherrschende geworden, das Geräusch bestehe überall nur aus

---

[1] F. BEZOLD, Über die funktionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans. 1897, vgl. bes. S. 229 ff. BEZOLD, der das Vorkommen solcher Tonlücken in vielen Fällen beobachtete und sorgfältig mit Hilfe einer EDELMANNschen kontinuierlichen Tonreihe untersuchte, hat dabei insbesondere auch den Nachweis geliefert, daß innerhalb der Tonlücken die Empfindung überhaupt null wird. In einigen früher beobachteten Fällen, wie z. B. bei der von dem Komponisten R. Franz an sich selbst beobachteten, die Töne g^2 bis h^2 umfassenden Tonlücke, blieb dies zweifelhaft, da er den Anschlag dieser Töne am Klavier als ein klatschendes Geräusch wahrnahm. Nach den Befunden von BEZOLD ist es aber wahrscheinlich, daß hierbei nur das Geräusch der Klaviertasten gehört wurde. Vgl. über diesen und einige andere Fälle von Gehörsstörungen bei Musikern STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 1, S. 411 ff.

[2] H. RIEMANN, Musikalische Logik. 1874, S. 12 ff.

einer ungeordneten, stark durch Schwebungen gestörten Summe von Tönen[1]! Dabei ist wohl von beiden Seiten, wiederum unter dem Einfluß des Dogmas der spezifischen Energie, diese Frage allzu sehr mit der andern nach der Nachweisbarkeit oder Nichtnachweisbarkeit spezifischer Endorgane vermengt worden. Hält man sich an die Empfindungstatsachen als solche, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß es gewisse Grenzfälle gibt, wo man keine einzelnen Tonkomponenten in dem Schallkomplex des Geräusches mehr zu unterscheiden vermag, daß man aber gerade dann dem Geräusch eine unbestimmtere Tonlage zuweist. Das gilt z. B. für das hauchende Geräusch, das man jenseits der unteren Grenze hörbarer Töne wahrnimmt. Es wird immer noch als eine den tiefsten Tönen nächstverwandte Qualität charakterisiert. Hiernach scheint hier die Bezeichnung des Geräusches als einer »diffusen Schallerregung« am besten den Tatsachen zu entsprechen. Sie wahrt aber einerseits dem Geräusch die Eigenschaft, die wir seine spezifische Qualität nennen können; und sie gestattet es anderseits, Ton- und Geräuscherregung in die gleichen Endorgane zu verlegen.

4. Lichtempfindungen.

a. Die einfachen Farben.

Unsere Lichtempfindungen unterscheiden wir nach drei veränderlichen Bestimmungen: 1) nach der Qualität der Farbe oder dem Farbenton, 2) nach der Sättigung der Farbe oder dem Farbengrad, und 3) nach der Lichtintensität oder der Stärke der Empfindung. Unter dem Farbengrad verstehen wir den Grad, in welchem in einer Farbenempfindung die Farbenqualität über die ihr beigemengte farblose Lichtempfindung überwiegt[2]. Wir nennen eine Farbe um so gesättigter, je weniger farbloses Licht (Weiß, Grau oder Schwarz) ihr beigemischt ist; das Weiß selbst nebst seinen Intensitätsabstufungen bis zum Schwarz kann in diesem Sinne als der geringste Grad einer jeden Farbe betrachtet werden. Von den genannten drei Eigenschaften der Lichtempfindung ist im allgemeinen die erste, der Farbenton, von der Wellenlänge, die zweite, der Farbengrad, von der Beimengung von Licht anderer Wellenlänge, die dritte, die Lichtstärke, von der Schwingungsamplitude abhängig. Wir wollen diese drei Eigenschaften vorläufig so untersuchen, als wenn sie, ähnlich etwa wie die Höhe und Stärke eines

[1] DENNERT, Archiv für Ohrenheilk., Bd. 18, 1890, S. 82 und Bd. 41, 1896, S. 111 ff. LUCAE, ENGELMANNS Archiv, Suppl. 1904, S. 396 ff. Vgl. auch K. L. SCHÄFER, NAGELS Handbuch der Physiol. Bd. 3, S. 579 ff. und Verhandl. der deutschen otologischen Gesellschaft, 1908, S. 87 ff.

[2] AUBERT (Grundzüge der physiologischen Optik. 1876, S. 517) hat zur Bezeichnung der Sättigung einer Farbe das Wort Farbennuance vorgeschlagen. Da aber dieses Wort seit langer Zeit von vielen Autoren im nämlichen Sinne wie Farbenton gebraucht wird, so sei es erlaubt, statt dessen den solchen Verwechslungen minder ausgesetzten und wohl auch an und für sich bezeichnenderen Ausdruck Farbengrad zu gebrauchen.

Klangs, völlig unabhängig voneinander variiert werden könnten, obgleich dies, wie wir später sehen werden, nicht der Fall ist, da die Lichtstärke die Sättigung und diese wieder die Farbenqualität verändert. Von diesen Einflüssen zunächst absehend, werden wir demnach der Untersuchung der Qualität hier nur die einfachen gesättigten Farben zugrunde legen, das Weiß aber, obgleich es mit demselben Recht wie jede Farbe als eine Empfindungsqualität betrachtet werden kann, soll erst bei dem Farbengrad zur Sprache kommen, weil es innerhalb der Abstufungen einer Farbe den der vollkommenen Sättigung gegenüberstehenden Grenzfall bildet. Endlich die Intensitätsabstufungen des Weiß werden nebst den Intensitäten der Farben an dritter Stelle betrachtet werden.

Der sicherste Weg, um einfache Farbenempfindungen in vollständiger Sättigung herzustellen, besteht in der Zerlegung des gewöhnlichen gemischten oder weißen Lichtes durch Brechung in die einzelnen einfachen Lichtarten von verschiedener Wellenlänge und Brechbarkeit. Läßt man durch einen Spalt im Fensterladen eines verdunkelten Zimmers einen Sonnenstrahl auf ein dreiseitiges Glasprisma fallen, so wird der weiße Strahl infolge der verschiedenen Brechbarkeit der Lichtarten von verschiedener Wellenlänge, die ihn zusammensetzen, in eine Reihe farbiger Strahlen, ein Spektrum, aufgelöst. Das Licht von der größten Wellenlänge wird am schwächsten, das Licht von der kleinsten am stärksten gebrochen. Jenes empfinden wir rot, dieses violett, und zwischen beiden folgen Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigblau stetig aufeinander (Fig. 187)[1].

[1] Die folgende kleine Tabelle enthält die aus den Interferenzversuchen berechneten Wellenlängen in Millionteilen eines Millimeter und die entsprechenden Schwingungszahlen in Billionen auf die Sekunde. Die FRAUNHOFERsche Linie, aus deren Umgebung der Farbenton genommen wurde, ist in Klammer beigefügt. Die letzte Kolumne enthält außerdem die von S. P. LANGLEY (Americ. Journ. of Science, vol. 36, p. 359) mittels der Wärmeabsorption durch Ruß bestimmte relative Schwingungsenergie der einzelnen Strahlen.

		Wellenlänge	Schwingungszahl	Energie
Rot	(*B*)	687,8	450	21,6
Rot	(*C*)	656,4	472	22,1
Gelb	(*D*)	588,8	526	21,6
Grün	(*E*)	526,0	589	19,1
Blau	(*F*)	484,3	640	15,5
Indigblau	(*G*)	429,1	722	9,1
Violett	(*H*)	392,8	790	4,8

Für das reine Blau wird häufig auch der Ausdruck Cyanblau (Cyaneum nach NEWTON) angewandt. Durch Abblendung des übrigen Spektrums läßt sich noch eine kleine Strecke jenseits der dunkeln Linie *L*, die das gewöhnlich sichtbare Violett begrenzt, eine Farbe erkennen, das Ultraviolett, das bis zu einer Linie *R* reicht, die einer Wellenlänge von 310,8 (Schwingungszahl 999) entspricht. Das Rot läßt sich unter günstigen Umständen bis zu einer Linie *A* mit der Wellenlänge 761,7 (Schwingungszahl 407, Schwingungsenergie 20,4) erkennen. Im Spektrum des Rubidiumdampfes erscheinen aber noch etwas jenseits von *A* zwei intensiv rote Linien.

Ein in der Richtung der aus dem Prisma austretenden Strahlen blickendes Auge nimmt diese Farbenreihe unmittelbar als ein subjektives Spektrum wahr. Bringt man dagegen in einiger Entfernung von dem Prisma einen weißen Schirm an, so wird auf dem letzteren ein objektives Spektrum in Form eines farbigen Bandes entworfen. Durch Einschaltung einer achromatischen Sammellinse in die austretenden Strahlen unmittelbar hinter dem Prisma wird die deutliche Sonderung der Teile des Spektrums wesentlich unterstützt. Außerdem lassen sich durch wiederholte Brechung in mehreren hintereinander aufgestellten Prismen die einzelnen Spektralfarben vollständiger voneinander isolieren. Die auf anderem Wege, nicht durch Zerlegung des Sonnenlichtes, gewonnenen Farben besitzen im allgemeinen keine vollständige Sättigung: so also namentlich auch diejenigen, welche infolge der Absorption entstehen, die gewisse Strahlen des weißen Lichtes bei der Brechung und Reflexion erfahren. Von farbigen

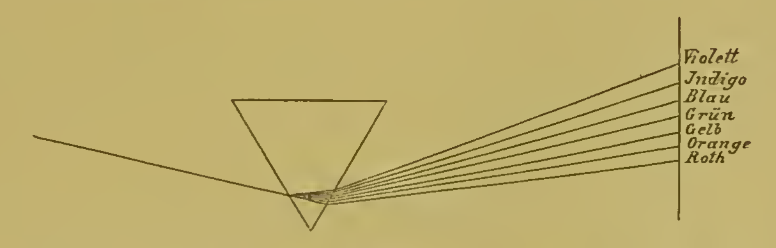


Fig. 187. Farbenzerlegung durch Lichtbrechung im Prisma.

Gläsern oder farbigen Pigmenten kommt daher immer Licht verschiedener Brechbarkeit, wie durch Zerlegung solchen Lichtes mittels des Prismas sich zeigen läßt. Doch kann man beim Durchgang des Lichtes durch farbige durchsichtige Medien bei geeigneter Kombination dieser Medien Farben erhalten, die den einfachen des Spektrums fast vollständig gleichkommen, abgesehen davon, daß sie eine geringere Lichtstärke besitzen.

Die auf solche Weise hergestellten einfachen Farben bilden nun eine Reihe stetig ineinander übergehender Empfindungen. Die ganze Mannigfaltigkeit derselben kann demnach, ähnlich der Tonreihe, durch eine Linie dargestellt werden. Jede qualitativ bestimmte Farbenempfindung bildet einen Punkt dieser Linie, von dem man stetig durch allmähliche Übergänge zu jedem beliebigen andern Punkte gelangen kann. Aber die Farbenlinie unterscheidet sich von der Tonlinie zunächst dadurch, daß eine bestimmte, den Abstufungen des äußeren Reizes entsprechende Stufenfolge der Empfindungen nicht nachweisbar ist. Eine Farbenskala, in dem Sinne wie es eine Tonskala gibt, existiert nicht[1]. Sodann zeigen

[1] Wenn man trotzdem, wie es mehrfach geschehen ist (NEWTON, Opticc, lib. 1, pars II,

die Farbenempfindungen die bemerkenswerte Eigentümlichkeit, daß sich die zwei an den beiden Enden des Spektrums stehenden Farben, das Rot und Violett, in ihrer qualitativen Beschaffenheit wieder einander nähern, demnach sich ähnlich verhalten wie zwei im Spektrum benachbarte Farben, z. B. Rot und Orange oder Blau und Indigblau. Die Farben bilden also nicht, wie die Töne, eine Linie, die immer in derselben Richtung fortschreitet, sondern das Ende dieser Linie nähert sich wieder ihrem Anfang. Dies bedeutet offenbar, das die genannte Linie keine gerade ist, sondern eine irgendwie gekrümmte oder geknickte Form hat. Jene Verwandtschaft zwischen den beiden Endfarben des Spektrums tritt aber am deutlichsten darin zutage, daß, wenn man dieselben mischt, eine gesättigte, subjektiv vollkommen einfache Farbe entsteht, welche je nach dem Mengeverhältnis der Komponenten alle möglichen Übergangstöne zwischen Rot und Violett enthält. Diese Farbe ist das Purpur. Dasselbe liegt dem Rot näher, wenn in der Mischung das Rot überwiegt (Karmesinrot), es nähert sich dem Violett, wenn von dieser Farbe mehr in die Mischung eingeht (eigentliches Purpur). Hiernach bilden unsere Farbenempfindungen eine in sich zurücklaufende Mannigfaltigkeit, und sie lassen sich durch irgendeine in sich geschlossene Kurve, am einfachsten durch eine Kreislinie darstellen. Die Farbenlinie läßt sich somit nicht, wie die Tonlinie, nach beiden Richtungen ins unendliche fortgesetzt denken, sondern der Umfang der Farbenempfindungen ist ein in sich begrenzter. Ja es scheint, als wenn, falls wir uns die Veränderungen des Violett und des Rot, wie sie gegen die Enden des Spektrums hin stattfinden, weiter fortgeführt denken wollten, dies nur in der Richtung der Farbentöne des Purpur geschehen könnte[1]. Übrigens ist der Kreis zwar die einfachste Form, die wir für die Farbenlinie voraussetzen können, aber keineswegs die einzige; irgendeine andere gegen ihren Ausgangspunkt zurücklaufende Kurve, ja eine geknickte, aus gekrümmten oder geraden Teilen zusammengesetzte Linie, z. B. ein geradliniges Dreieck, würde das nämliche leisten. Bedingung bei allen diesen Darstellungen bleibt nur, daß die beiden Enden sich wieder nähern und, wenn man die Ergänzung durch Purpur hinzunimmt, ineinander übergehen. Die purpurnen Farbentöne sind aber zugleich die einzigen unter allen Misch-

---

tab. III, fig. 11. HELMHOLTZ, Physiol. Optik, Taf. IV, Fig. 1), eine Farbenskala entwarf, so stützte man sich daher lediglich auf physikalische Analogien, nicht auf die subjektiven Eigenschaften der Farbenempfindung.

[1] Die gewöhnlich nicht sichtbaren brechbarsten Strahlen des Spektrums, die aber bei Ausschluß alles andern Lichtes sichtbar gemacht werden können, die übervioletten Strahlen, erscheinen allerdings nicht purpurfarben, sondern bläulicher als das eigentliche Violett. Aber dieser bläuliche Farbenton wird durch die Fluoreszenz der Netzhaut bedingt, die bei den übervioletten Strahlen im Verhältnis zur Intensität der Empfindung ihre größte Stärke erreicht.

farben, denen keine der einfachen Farben des Spektrums gleich ist. Mit der Ergänzung durch Purpur stellt also unsere Farbenlinie alle überhaupt möglichen Farbenempfindungen dar.

Will man die Farbenlinie ohne Rücksicht auf die später zu besprechenden Mischungserscheinungen, bloß nach der Abstufung der Empfindung konstruieren, so ist der Kreis die einfachste Form, weil der Kreis die einfachste in sich zurücklaufende Linie ist. Es bleibt dann aber noch die Ausdehnung, die den einzelnen Farbentönen gegeben werden soll, willkürlich. Sollte hierfür aus der unmittelbaren Empfindung ein Maß genommen werden, so würde, da eine sichere quantitative Vergleichung beliebiger endlicher Farbenintervalle nicht möglich ist, nur übrig bleiben, ähnlich wie bei der Abstufung der Empfindungsintensität, von der Schätzung minimaler Unterschiede auszugehen. Es fehlt zurzeit noch an einer hinreichend exakten Grundlage für die Ausführung einer solchen Konstruktion. Da im Gelb und im Blau die relativ größte, im Grün eine geringere und bei den Endfarben des Spektrums, Rot und Violett, die kleinste Empfindlichkeit für Änderungen des Farbentons vorhanden ist, so würde aber wohl die größte Bogenlänge auf einem solchen nach Graden der Unterschiedsempfindlichkeit konstruierten Kreis dem Gelb und dem Blau, eine kleinere dem Grün, und die kleinste dem Rot und Violett anzuweisen sein (Fig. 188). Die drei letztgenannten sind diejenigen Farben, die, wie wir unten sehen werden, auch bei den Erscheinungen der Farbenmischung eine ausgezeichnete Rolle spielen.

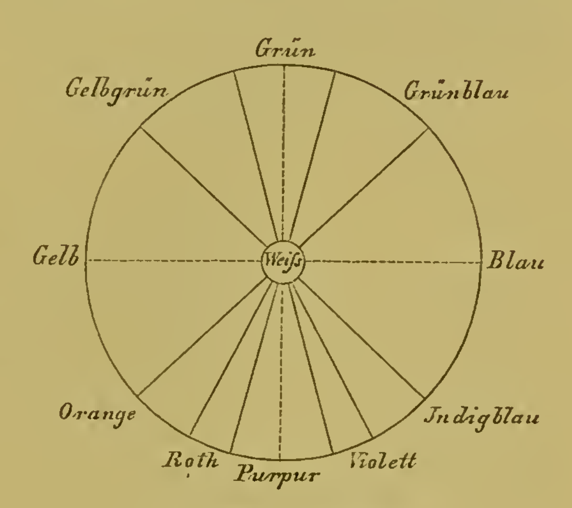


Fig. 188. Farbenkreis.

Zur Messung der Unterschiedsempfindlichkeit der in der Farbenlinie aufeinander folgenden Farben können nun, mit den geeigneten Modifikationen, die nämlichen Methoden verwendet werden, deren man sich zur Bestimmung der Empfindlichkeit für Intensitätsunterschiede bedient (Bd. 1, S. 588). Am direktesten ergeben sich auch hier wieder die Unterschiedsschwellen nach der Methode der Minimaländerungen. So fand DOBROWOLSKY[1], als er bei Einstellung auf möglichst gleiche Helligkeit

[1] DOBROWOLSKY, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 18, 1. 1872, S. 66. Durchgängig kleiner sind die Zahlen, die früher MANDELSTAMM erhielt, ebend. Bd. 13, 2, 1867, S. 399. Wahrscheinlich hängt dies damit zusammen, daß in den Beobachtungen des letzteren der

zwei übereinander entworfene Spektren bis zur Grenze eben merklicher Unterschiede des Farbentons gegeneinander verschob, wenn jedesmal die absolute Wellenlänge, in bezug auf welche der eben merkliche Unterschied zu bestimmen war, = 1 gesetzt wurde, folgende Werte der relativen Unterschiedsschwelle:

Rot (Linie *B—C*)	Orange (*C—D*)	Gelb (*D*)	Gelbgrün (*D—E*)	Grün (*E*)
1/115—1/167	1/331	1/772	1/246	1/340

Grünblau (*E—F*)	Blau (*F*)	Indigblau (*G*)	Violett (*G—H*)
1/615	1/740	1/272	1/146

Im wesentlichen zu demselben Ergebnisse führten Versuche von ARTH. KÖNIG und DIETERICI nach der Methode der mittleren Fehler, wie die folgende Übersicht zeigt, deren Zahlen Millionteile eines Millimeter bedeuten. Zu einer gegebenen Spektralfarbe wurde die entsprechende eines zweiten Spektrums so eingestellt, daß beide einander gleich erschienen[1].

Wellenlängen		Mittlerer Fehler einer Einstellung			
		K		*D*	
640	(Rot)	1,28		1,82	
610	(Orange)	0,56		0,78	
580	(Gelb)	0,27		0,36	
540	(Gelbgrün)	0,68		0,64	
520	(Grün)	0,59		0,51	
500	(Grünblau)	0,23	(0,41)	0,28	(0,29)
480	(Blau)	0,28	(0,33)	0,26	(0,23)
450	(»)	0,44	(0,82)	0,40	(0,57)
430	(Indigblau)	1,06	(0,69)	0,56	(0,56)

Da die Größe des unter *K* und *D* angegebenen mittleren Fehlers der Unterschiedsempfindlichkeit reziprok ist, so zeigt auch diese Tabelle Minima der U.-E. im Rot, Grün und Violett, Maxima im Gelb und Blau. Zugleich ergaben sich jedoch bei den kürzeren Wellenlängen ziemlich be-

Einfluß der Helligkeitsunterschiede auf die Unterschiedsempfindlichkeit nicht zureichend eliminiert war. Wie bedeutend dieser Einfluß ist, ergibt sich aus Versuchen von P. MENTZ (Philos. Stud. Bd. 13, 1898, S. 481), in denen die Unterschiedsempfindlichkeit ohne Reduktion auf gleiche Helligkeit untersucht und ebenfalls bedeutend größer gefunden wurde. Innerhalb einzelner Teile des Spektrums ging hier die relative U.-Schwelle bis auf 1/2000 bis 1/3000 herab, und es fanden sich im ganzen im Verlauf des Spektrums 28 Minima und 27 Maxima der U.-E., also nicht weniger als 55 Wendepunkte derselben. Damit stimmt überein, daß A. KÖNIG (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 8, 1895, S. 375 ff.) die Zahl der im Spektrum merklich von einander verschiedenen Farbentöne für das normale Auge auf 160, die Zahl der unterscheidbaren Helligkeitsstufen aber auf 660 schätzt.

[1] A. KÖNIG und C. DIETERICI, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 30, 1884, S. 171 ff. Zeitschr. f. Psychol. Bd. 3, 1892, S. 105. Wesentlich übereinstimmende Resultate erhielten UHTHOFF (Archiv für Ophthalmologie Bd. 34, 4, 1889, S. 1 ff.) und PAUL MENTZ (Phil. Stud. Bd. 13, 1898, S. 481 ff) nach der Methode der eben merklichen Unterschiede. Im Unterschiede von den Resultaten DOBROWOLSKYs war in allen diesen Versuchen das zweite Maximum der Empfindlichkeit (bei *F*) etwas größer als das erste (bei *D*) und mehr gegen Grünblau verschoben. Ein von UHTHOFF u. A. beobachtetes drittes Maximum im Violett rührt, wie KÖNIG fand, nur von Helligkeitsunterschieden her.

deutende Abweichungen bei schwacher und starker Beleuchtung. (Die Zahlen für starke Lichtintensitäten sind in Klammern beigefügt.)

Die in diesen Ergebnissen ausgedrückte Beziehung läßt sich hiernach zur Darstellung bringen, wenn man sich die Bogenstücke des Farbenkreises (Fig. 188), durch welche die Unterschiedsempfindlichkeit gemessen wird, in senkrechte Ordinaten verwandelt und auf eine Abszissenlinie aufgetragen denkt, auf welcher die Farben nach ihrer Brechbarkeit geordnet sind. Man erhält so eine Kurve, die sich beim Rot erhebt, beim Gelb ihr erstes Maximum erreicht, dann im Grün zu einem relativen Minimum fällt, im Blau zu einem zweiten Maximum steigt und endlich im Violett wieder sinkt. Die drei niedrigsten Punkte dieser in Fig. 189 auf ein ideales, symmetrisches Schema reduzierten Kurve entsprechen der Anfangs- und Endfarbe sowie der mittleren Farbe des Spektrums.

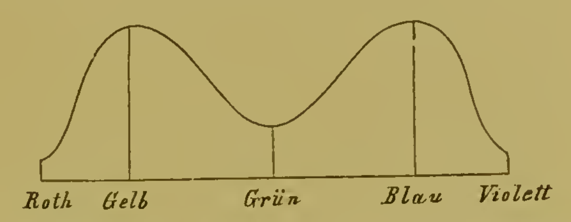


Fig. 189. Schema des Verlaufs der Unterschiedsempfindlichkeit im Farbensystem.

Ein gewisses, freilich noch von mancherlei andern Bedingungen abhängiges Maß für die Unterschiede unserer Farbenempfindungen bieten ferner die Farbenbezeichnungen der Sprache, insofern einzelne der einfachen Farben durch ältere und ursprünglichere Bezeichnungen unterschieden werden als die übrigen. Sie sind Hauptfarben (auch Prinzipalfarben) genannt worden, während man ihnen die andern als Übergangsfarben gegenüberstellte. Als solche Hauptfarben treten deutlich durch ihre charakteristischen Namen Rot, Gelb, Grün und Blau hervor. Indem die Übergangsfarben zwischen je zwei Hauptfarben liegen, können sie in der Empfindung als Zwischenstufen aufgefaßt werden. Dies hat meist auch in den sprachlichen Bezeichnungen derselben, wie Violett (Veilchenblau), Orangegelb, Gelbgrün usw., seinen Ausdruck gefunden. Hieraus darf natürlich noch nicht geschlossen werden, daß in unserer unmittelbaren Empfindung die Hauptfarben einen von den Übergangsfarben spezifisch verschiedenen Charakter besäßen; sondern da die Farben, wie die Geschichte der Sprache wahrscheinlich macht, überall von gewissen äußeren Objekten ihre Namen erhalten haben, so scheinen vielmehr bestimmte Sinneseindrücke die Wahl der Hauptfarben veranlaßt zu haben, worauf dann von selbst den übrig bleibenden die Stellung von Übergangsfarben zufallen mußte. Nur der Umstand, daß es gerade vier Hauptfarben gibt, mag vielleicht in der subjektiven Natur der Empfindung eine gewisse Grundlage haben, da je zwei benachbarte Hauptfarben ein-

ander nahe genug sein müssen, damit bei allen zwischenliegenden Empfindungen eine Verwandtschaft mit beiden merklich werde. Wenn wir die Farbenreihe als eine in sich zurücklaufende Kurve betrachten, so wird dadurch außerdem verständlich, daß es für jeden Punkt derselben einen andern gibt, der einer Empfindung von der größtmöglichen qualitativen Verschiedenheit entspricht. Bei der oben angedeuteten Konstruktion des Farbenkreises nach der subjektiven Abstufung der Empfindungen sind dann, wenn man sich die Ergänzung durch Purpur hinzudenkt[1], als Punkte der größten Farbendifferenz offenbar solche zu betrachten, die von den Enden je eines Kreisdurchmessers berührt werden; und die vier Hauptfarben erhält man, wenn zuerst das zwischen den Enden des Spektrums gelegene Purpur mit der ihm gegenüberliegenden mittleren Spektralfarbe Grün durch einen Durchmesser verbunden und außerdem der hierauf senkrechte Durchmesser gezogen wird: der letztere trifft jetzt die zwei weiteren Hauptfarben Gelb und Blau (Fig. 188). Das Purpur statt des Rot zu wählen, dürfte deshalb gerechtfertigt sein, weil es die gleich ausgeprägte Differenz zu den drei andern Hauptfarben zeigt, während mit demselben die Anfangs- und die Endfarbe des Spektrums in gleichem Maße verwandt erscheinen.

b. Farbengrad und Farbenmischung.

Der Farbengrad besteht in jener Eigentümlichkeit der Lichtempfindung, welche durch die mehr oder weniger bedeutende Beimengung der farblosen Empfindung zu einer reinen Farbenempfindung bedingt wird. Das Weiß läßt sich als der geringste Grad jeder möglichen Farbenempfindung betrachten, und als gleichbedeutend mit Weiß müssen in dieser Beziehung dessen verschiedene Intensitätsabstufungen, Grau und Schwarz, gelten. Der Begriff einer gesättigten Farbe hat demnach durchaus nur eine subjektive Bedeutung, und der Farbengrad ist daher auch wesentlich von unserer wechselnden Empfindlichkeit abhängig. Ist z. B. das Auge für Licht von einer gewissen Farbe abgestumpft, so kann uns eine geringe Beimengung derselben entgehen: es kann also ein etwas gefärbtes Licht vollkommen weiß erscheinen. Auf der andern Seite besitzen die Empfindungen, welche die reinen Spektralfarben im unermüdeten Auge erzeugen, nicht die größte Sättigung, die einer Farbe überhaupt zukommen kann. Ist z. B. das Auge für grünes Licht ermüdet, so erscheint das spektrale Rot in den ersten Augenblicken

[1] Um für das Purpur die entsprechenden Werte der Unterschiedsempfindlichkeit zu gewinnen, könnte man vielleicht die eben merklichen minimalen Mischungsänderungen von Rot und Violett als Maße der Unterschiedsschwelle benutzen.

der Betrachtung gesättigter, als es gewöhnlich vom unermüdeten Auge gesehen wird. Der Begriff einer absolut gesättigten Farbe ist also ein Grenzbegriff, dem sich unsere realen Empfindungen mehr oder weniger annähern. Wenn wir die reinen Spektralfarben, wie sie dem unermüdeten Auge erscheinen, zum Maß gesättigter Farbenempfindungen nehmen, so hat dies nur die Bedeutung, daß sie unter unsern wirklichen Empfindungen in der Tat im allgemeinen die höchsten Farbengrade darstellen. Weiß, Grau oder Schwarz aber nennen wir alle jene Empfindungen, in denen keine farbige Beimengung mehr wahrnehmbar ist.

Die gewöhnliche Ursache, durch die aus gesättigten Empfindungen solche von geringerem Sättigungsgrade entstehen, ist nun die Mischung gesättigter Farben. Es ist dies zugleich der einzige Weg, auf welchem, wenn die Empfindlichkeit der Netzhaut ungeändert bleibt, der Farbengrad ohne gleichzeitige Änderung der Lichtstärke geändert werden kann, der einzige also, der hier zunächst in Frage kommt, da uns der Einfluß der Lichtstärke auf die Qualität der Farbenempfindung erst später beschäftigen soll.

Eine Mischung gesättigter oder nahehin gesättigter Farben läßt sich nach verschiedenen Methoden bewerkstelligen. Man kann entweder direkt Spektralfarben mischen, indem man die einzelnen Strahlen des prismatischen Spektrums (Fig. 187) wieder durch Brechung vereinigt, oder man kann das von Pigmenten reflektierte Licht mischen, wobei freilich die in die Mischung eingehenden Komponenten niemals die Sättigung der Spektralfarben besitzen. Statt der direkten Mischung der Ätherwellen lassen sich aber auch die Empfindungen mischen, indem man mittels des Farbenkreisels in sehr rascher Zeitfolge auf eine und dieselbe Stelle der Netzhaut verschiedenartige Eindrücke einwirken läßt. Nach allen diesen Methoden findet man, daß die Mischung aller Spektralfarben in dem Intensitätsverhältnis, wie sie das Sonnenspektrum darbietet, Weiß erzeugt, eine Tatsache, die den aus der Zerlegung des gemischten Sonnenlichtes in die einzelnen Spektralfarben folgenden Schluß bestätigt. Man findet aber ferner, daß derselbe Erfolg durch eine geringere Anzahl, ja bei geeigneter Wahl durch zwei einfache Farben bereits herbeigeführt werden kann. Zwei Farben, die qualitativ einander nahe stehen, geben nämlich gemischt einen Farbenton, der auch im Farbenkreis zwischen ihnen liegt; dieser nimmt, wenn die Farben weiter auseinander rücken, allmählich eine weißliche Beschaffenheit an, und bei einem bestimmten Unterschiede der Mischfarben geht, wenn dieselben in den geeigneten Intensitätsverhältnissen zusammenwirken, die resultierende Farbe in Weiß über. Wählt man die Distanz noch größer, so entsteht dann wieder eine Farbe, diese liegt aber im Spektrum nicht mehr in der Mitte zwischen den beiden

Mischfarben, sondern zwischen der zweiten (brechbareren) Farbe und dem Ende des Spektrums, oder sie ist, wenn die Enden des Spektrums selber gemischt werden, Purpur. Jene Farben nun, die in den geeigneten Intensitätsverhältnissen miteinander gemischt Weiß geben, nennt man Ergänzungsfarben (Komplementärfarben). Auf diese Weise findet man, daß

Rot und Grünblau,
Orange und Blau,
Gelb und Indigblau,
Grüngelb und Violett,
Grün und Purpur

einander komplementär sind. Aus dieser Zusammenstellung folgt nach dem obigen von selbst, daß Rot mit einer vor Grünblau gelegenen Farbe, z. B. Grün, gemischt, je nachdem Rot oder Grün mehr überwiegt, sukzessiv Orange, Gelb, Gelbgrün gibt, daß dagegen Rot mit Blau gemischt Indigblau, Violett oder Purpur erzeugt, und ähnlich bei den übrigen Farben. Aus diesen Tatsachen lassen sich nun Bedingungen entwickeln, durch welche die Gestalt der Farbenlinie, statt wie oben nach der Abstufung der Farbenempfindung, vielmehr nach dem gegenseitigen Verhalten der einzelnen einfachen Farben bei Mischungen näher bestimmt wird. Sucht man hierbei dem Mischungsgesetz der Spektralfarben zugleich einen quantitativen Ausdruck in der Farbenkurve zu geben, so kann dies folgendermaßen geschehen. Man stellt die Bedingung, daß, wie im Farbenkreis, alle zwischen je zwei Komplementärfarben gezogenen Geraden in einem einzigen Punkte sich schneiden; dagegen sollen diese Geraden nicht mehr einander gleich, sondern so bestimmt sein, daß die Entfernung je einer Komplementärfarbe vom Durchschnittspunkt umgekehrt proportional ist der Intensität, in der sie, spektrale Sättigung und Helligkeit vorausgesetzt, angewandt werden muß, um Weiß zu erzeugen. Oder mit andern Worten: die Teile der Geraden, welche zu beiden Seiten des Durchschnittspunktes liegen, sollen der komplementären Wirksamkeit der entsprechenden Spektralfarben direkt proportional sein. Unter dieser Bedingung erhält man die in Fig. 190 dargestellte Kurve *RGV*. Die Lücke zwischen *R* und *V* kann man sich durch das unter den Spektralfarben fehlende Purpur, das objektiv nur durch Mischung von Rot und Violett erzeugt werden kann, ausgefüllt denken. Werden die gesättigten Farbentöne des Purpur (*P*), was freilich an sich willkürlich ist, auf einer geraden Linie liegend gedacht, so entsteht dann wiederum eine geschlossene Figur, die alle Farbentöne und Farbengrade enthält, diesmal aber in ihrer Form einem Dreieck sich nähert. *W* ist der Durchschnittspunkt

aller Geraden, die je zwei Komplementärfarben verbinden. Diese werden sämtlich durch den Punkt W so geteilt, daß z. B. $V \cdot VW = G' \cdot G'W$ ist, wenn V die Menge des Violett, G' die des Gelbgrün bedeutet, die man in der Mischung zu Weiß anwenden muß, während VW und $G'W$ den komplementären Wirkungen der Farben V und G' des Spektrums proportional sind. Man kann sich, wie dies schon NEWTON[1] getan hat, die in W zusammenlaufenden Linien als Hebelarme vorstellen, an welchen die einzelnen Farben als Gewichte wirken: dann bedeutet W den Schwerpunkt des Farbensystems, und die Bedingung für die Wahl

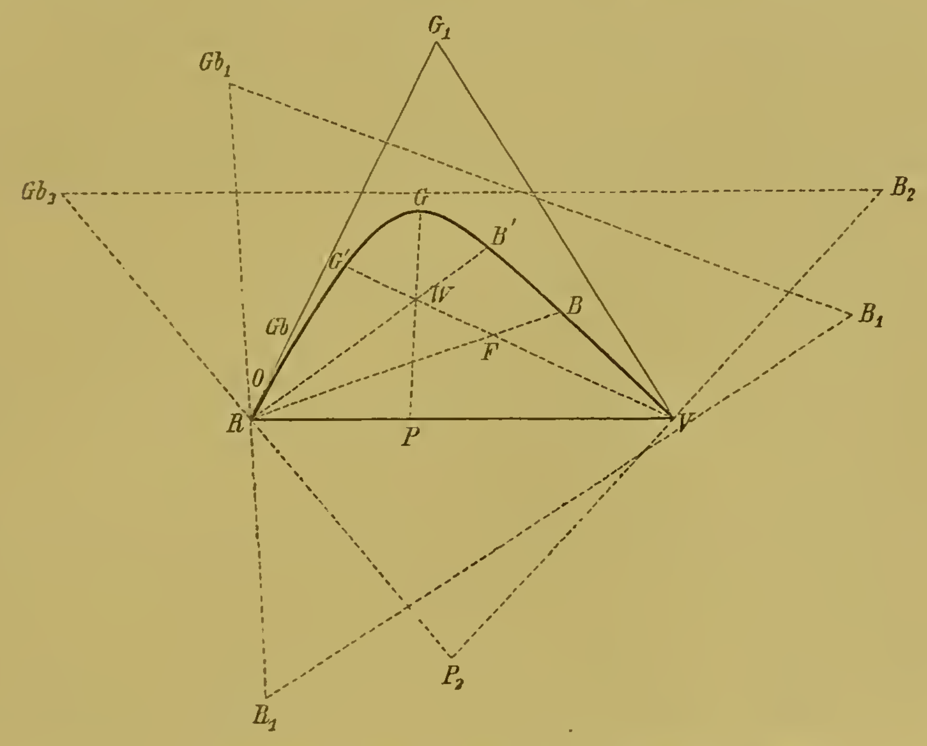


Fig. 190. Farbendreieck auf Grund der Schwerpunktkonstruktion.

komplementärer Farben ist, daß diese als Kräfte betrachtet miteinander im Gleichgewicht stehen müssen.

Durch die hier gewählte Form der Kurve wird noch eine weitere Tatsache ausgedrückt, die bei der Farbenmischung zur Geltung kommt. Mengt man zwei Spektralfarben, die nahe beieinander und zugleich nahe dem einen oder andern Ende des Spektrums liegen, so hat die resultierende Mischfarbe nahezu spektrale Sättigung. Spektrales Rot und Gelb ($R + Gb$) gemischt geben also ein gesättigtes Orange (O), ebenso spektrales Violett und Blau ($V + B$) ein nahezu spektrales Indigblau. Dies

[1] NEWTON, Optice, lib. I, pars II, prop. VI.

ist aber nicht mehr der Fall bei den Farben, die sich mehr der Mitte des Spektrums, dem Grün, nähern. Hier entsteht durch die Mischung nahestehender Farben immer ein minder gesättigter, also weißlicherer Farbenton, als ihn die zwischenliegende Spektralfarbe besitzt. Demgemäß verläuft die Kurve einerseits vom Rot bis zum Gelbgrün (R bis G'), anderseits vom Violett bis zum Blaugrün (V bis B') annähernd geradlinig, in der Gegend des Grün aber ist sie gebogen. Wollte man aus den drei Farben Rot, Grün und Violett alle Farben in vollkommen spektraler Sättigung hervorbringen, so müßte man also mindestens eine dieser Mischfarben, nämlich das Grün, gesättigter nehmen, als sie im Spektrum vorkommt. Dann würden sich alle so entstehenden Farben auf einem geradlinigen Dreieck $R G_1 V$ anordnen lassen. Die Seiten dieses Dreiecks enthalten daher ein imaginäres (in unserer Empfindung, abgesehen von den Endfarben R und V, nicht existierendes) Farbensystem, während die realen Farben des Spektrums auf der innerhalb des Dreiecks liegenden Kurve $R G V$ angeordnet sind.

Auf solche Weise führen die Modifikationen, die der Farbenkurve gegeben werden können, um das Verhalten der Farben in Mischungen auszudrücken, unmittelbar zur Ergänzung derselben durch die gleichzeitige Darstellung der möglichen Sättigungsgrade. Bleiben wir beim Farbenkreis stehen, so läßt sich der Mittelpunkt desselben, in dem sich alle Durchmesser schneiden, die je zwei Komplementärfarben verbinden, als der Ort des Weiß betrachten (Fig. 188). Die verschiedenen Sättigungsstufen einer Farbe liegen dann sämtlich auf dem Halbmesser, der die der gesättigten Farbe entsprechende Stelle der Peripherie mit dem Mittelpunkte verbindet. Denkt man sich den ganzen Kreis in einzelne Ringe geteilt, so enthalten diese von außen nach innen immer weißlichere Farbengrade; innerhalb jedes Ringes findet aber ein ebenso stetiger Übergang der Farbentöne ineinander statt, wie bei den die Peripherie einnehmenden gesättigten Farben. Man hat also zweierlei stetige Übergänge: einen in der Richtung des Halbmessers von den gesättigten zu den minder gesättigten Farbengraden, und einen zweiten in der Richtung der Winkelbogen von einem Farbenton zum andern. Je kleiner der auf denselben Winkelgrad fallende Bogen wird, d. h. je mehr man sich dem Mittelpunkt nähert, um so kleiner werden die Unterschiede der Farbentöne, bis sie endlich im Mittelpunkt ganz aufhören, da hier das Weiß für alle Farben zugleich das Minimum der Sättigung darstellt. Wie demnach die Farbentöne für sich genommen ein Kontinuum von einer, so bilden sie im Verein mit den Farbengraden betrachtet ein Kontinuum von zwei Dimensionen, und wie die Kreislinie die Farbentöne, so stellt die Kreisfläche sie und die Farbengrade in der einfachsten Form dar. Will man zugleich

die quantitative Seite des Mischungsgesetzes zum Ausdruck bringen, und legt man unmittelbar die Verhältnisse der Spektralfarben oder ihnen möglichst angenäherter farbiger Pigmente auf rasch rotierenden Scheiben zugrunde, so geht dann der Farbenkreis in die von der Kurve in Fig. 190 umgrenzte Fläche über. Der Schwerpunkt W ist hier der Ort des Weiß, und auf den Geraden, die von der Peripherie der Kurve nach dem Punkte W gezogen werden, liegen die weißlichen Farbengrade. Die so gewonnene Farbenfläche hat dann nicht bloß für die Mischung der Komplementärfarben zu Weiß, sondern überhaupt für die Entstehung beliebiger Mischfarben aus einfachen Farben ihre Bedeutung. Die an der Stelle F gelegene Farbe z. B. wird durch Mischung zweier Farben R und B erhalten, deren Mengenverhältnis durch die Gleichung $R \cdot RF = B \cdot BF$ gegeben ist. Die nämliche Farbe kann aber noch aus andern Komponenten, deren Verbindungslinien sich in F schneiden, gewonnen werden, z. B. aus V und G', wobei wieder $V \cdot VF = G' \cdot G'F$ sein muß. Hierin liegt auch der Grund, daß, wie oben bemerkt, die einfache Farbenlinie geradlinig bleiben muß, so lange die aus der Mischung zweier Spektralfarben hervorgehende mittlere Farbe eine spektrale Sättigung hat. Denn in diesem Fall muß eben die gerade Verbindungslinie der gemischten Farben mit der Farbenlinie selbst zusammenfallen, während sie, wo die Mischfarbe weißlich ist, nach einwärts von der Farbenlinie gegen die weiße Mitte zu liegt. Dies kann aber nur eintreten, wenn die Farbenlinie einen gekrümmten Verlauf hat. Letzteres ist daher wegen der weißlichen Beschaffenheit der Mischfarbe bei allen etwas entfernter voneinander liegenden Spektralfarben vorauszusetzen. Nur die dem Purpur entsprechende Verbindungslinie ist als eine Gerade anzusehen, denn die Mischung von spektralem Rot und Violett erzeugt niemals weißliche Farbentöne, was freilich wiederum seinen Grund darin hat, daß das Purpur objektiv überhaupt nur durch diese Mischung erzeugt werden kann.

Aus den Erscheinungen der Farbenmischung geht hervor, daß zur Erzeugung aller möglichen Farbenempfindungen keineswegs alle möglichen Arten objektiven Lichtes erforderlich sind, sondern daß hierzu eine beschränktere Zahl von Farbentönen genügt. Diejenigen Farben, die durch Mischung in wechselnden Mengeverhältnissen alle Farbenempfindungen sowie die Empfindung Weiß hervorbringen können, hat man die Grundfarben genannt. Sowohl aus der Betrachtung der Komplementärfarbenpaare wie aus der Gestalt der nach den Mischungserscheinungen konstruierten Farbentafel erhellt, daß mindestens drei solche Grundfarben nötig sind. Alle zwischen Rot und Grün liegenden Farben kann man nämlich, wenn auch in etwas verminderter Sättigung, durch Mischung von Rot und Grün, ebenso alle zwischen Violett und Grün durch Mischung

von Violett und Grün erhalten, während Rot und Violett zusammen Purpur geben. Purpur und Grün sind aber Komplementärfarben, geben also zusammen Weiß. Demnach kann man aus Rot, Grün und Violett das Weiß, die sämtlichen Farbentöne und das Purpur mit ihren Übergängen zu Weiß gewinnen. Das nämliche erhellt aus der Betrachtung der idealen Farbentafel $R G_1 V$ in Fig. 190, in der die Lage der Farben des Spektrums auf den zwei einen Winkel bildenden Seiten des Dreiecks andeutet, daß die Mischung je einer Endfarbe des Spektrums mit jener mittleren Farbe, welche die Stelle des Winkels einnimmt, die im Spektrum zwischenliegenden Farbentöne erzeugt. Jene winkelständige Farbe selbst, das Grün, ist aber zu Purpur, der Mischung der beiden endständigen Farben, komplementär: auch diese Konstruktion führt also auf Rot, Grün und Violett als Grundfarben. Hierbei weist jedoch der Umstand, daß die gesättigten Farben des Spektrums nicht auf den Seiten $R G_1$ und $V G_1$, sondern auf der von diesen Seiten umschlossenen gekrümmten Linie $R G V$ liegen, daß also der ganze außerhalb $R G V$ liegende Teil des Dreiecks eine bloß imaginäre Bedeutung besitzt, auf eine Willkürlichkeit dieser Konstruktion und also auch der Ableitung aller Lichtarten aus drei Grundfarben hin. In der Tat, nimmt man, wie es schon bei den drei besprochenen Grundfarben geschehen ist, bloß auf den Farbenton, nicht auf den Farbengrad Rücksicht, so lassen sich auch noch aus andern als den drei angegebenen Farben Weiß, Purpur und die übrigen Farbentöne herstellen. So geben z. B. Rot, Grün und Blau oder Orange, Grün und Violett, oder, wie es in Fig 190 durch das Dreieck $R_1 Gb_1 B_1$ angedeutet ist, Rot, Gelb und Blau, oder überhaupt je drei oder mehr Farben, welche, wenn man sie durch gerade Linien verbindet, den Raum $R G V$ umschließen, alle möglichen Farbenempfindungen. Selbst die im Spektrum nicht vorkommende zusammengesetzte Farbe, das Purpur, würde als eine solche imaginäre Grundfarbe angenommen werden können, indem sich z. B. aus Purpur, Gelb und Blau ein Farbendreieck $P_2 Gb_2 B_2$ konstruieren läßt. Aber in diesen Fällen sind, so lange man sich auf drei Komponenten beschränkt, die meisten Mischfarben noch weißlicher als bei der Wahl von Rot, Grün und Violett, wie sich daran zeigt, daß dann jedesmal der imaginäre Teil des Farbendreiecks größer wird als der des Dreiecks $R G_1 V$. Die drei angegebenen Grundfarben zeichnen sich also dadurch aus, daß durch sie nicht nur überhaupt alle möglichen Farbentöne, sondern diese auch in relativ größerer Sättigung hervorgebracht werden können als bei Benutzung anderer Kombinationen. Die Kombination Rot, Grün und Blau nähert sich dieser Bedingung ebenfalls, da Blau und Rot bei bedeutendem Übergewicht der ersteren Farbe indigblaue und violette Farbentöne von ziemlich vollkommener Sättigung ergeben. In-

dem man von der Vermutung ausging, die Grundfarben seien zugleich Hauptfarben in dem oben (S. 151) angegebenen Sinne, hat man daher häufig bei der Konstruktion der Farbentafel den Komponenten Rot, Grün und Blau den Vorzug gegeben[1]. Die Versuche über Mischung der Spektralfarben scheinen jedoch für die zuerst von THOMAS YOUNG aufgestellte Verbindung Rot, Grün und Violett zu sprechen[2]. Offenbar kommt hierbei in Betracht, daß Rot und Violett die Endfarben des Spektrums sind, und daß sie in diesem selbst gegenüber den andern Farben durch intensive Sättigung sich auszeichnen.

Hiernach kommt der Konstruktion der Farbenempfindungen aus den drei Grundfarben überhaupt nur ein Annäherungswert zu. HELMHOLTZ hat nun, einer Hypothese THOMAS YOUNGs folgend, den angegebenen drei Grundfarben eine absolute Bedeutung dadurch zu wahren gesucht, daß er sie als Grundempfindungen auffaßte, die an und für sich nicht notwendig mit Farben des Spektrums zusammenfallen müßten, sondern sich in ihrer Sättigung von denselben möglicherweise unterscheiden könnten. Nimmt man an, daß es drei solche Grundempfindungen gibt, die dem Rot, Grün und Violett entsprechen, aber gesättigter sind als die mit diesen Namen belegten Spektralfarben, so läßt sich dann das Dreieck RG_1V (Fig. 190) als eine Tafel der reinen Farbenempfindungen betrachten, aus denen die realen Farben, die auf der Kurve RGV liegen, immer erst durch Mischung hervorgehen. Nimmt man an, jede Spektralfarbe errege alle drei Grundempfindungen, nur je nach der Wellenlänge in verschiedenem Grade, so würde kein Grenzpunkt der ersten Tafel mit einem solchen der zweiten sich berühren, sondern zwischen jeder einfachen Farbe und der entsprechenden Grundempfindung würde noch ein Zwischenraum gesättigterer Farbentöne vorhanden sein[3]. Inwieweit dies auch für die beiden Endfarben des Spektrums, Rot und Violett, zutrifft, bleibt übrigens dahingestellt. Am Anfang und Ende der Farbenkurve gleicht nämlich, wie MAXWELL und J. J. MÜLLER fanden, die Mischfarbe der zwischenliegenden Spektralfarbe auch in ihrem Sättigungsgrade, und es stützt sich hier die Annahme von Grundempfindungen, die jenseits der wirklichen Farben R, V, also in den abwärts gerichteten Verlängerungen der beiden Dreieckseiten GR und GV liegen, nur auf die Wahrnehmung, daß die Empfindungen des spektralen Rot und Violett noch einigermaßen in ihrem Farbengrad variieren können. So erscheint dieser z. B. größer, wenn zuvor

[1] So besonders MAXWELL, Philos. Transactions, vol. 150, 1860, p. 57. Philos. Mag., 4. vol. 21, 1860, p. 141.

[2] J. J. MÜLLER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 15, 2. 1869, S. 248.

[3] Nach dieser Voraussetzung ist in der Tat von KÖNIG und DIETERICI (Berliner Sitzungsber. 29. Juli 1886 und von HELMHOLTZ (Physiol. Optik², Fig. 139, S. 340) die Farbentafel in die hypothetische Tafel der Grundempfindungen eingetragen worden.

eine kontrastierende Farbe (Grün vor Rot, Gelb vor Violett) eingewirkt hat. Da aber, wie oben bemerkt, die Konstruktion des Farbendreiecks eine willkürliche ist, insofern auch aus andern als den genannten drei Komponenten alle Lichtempfindungen ihren Qualitäten nach erzeugt werden können, so ist sie an und für sich nur ein anschaulicher Ausdruck für das Mischungsgesetz der Farben, aus welchem irgendwelche theoretische Folgerungen unmittelbar noch nicht gezogen werden dürfen. Nach jenem Gesetz erzeugen nämlich: 1) Wellenlängen, die wenig voneinander verschieden sind, miteinander gemischt Empfindungen, die zwischenliegenden Wellenlängen entsprechen, und 2) Wellenlängen, die sich in größerer Distanz befinden, namentlich solche, von denen die eine rechts und die andere links von einem mittleren Orte *G* des Spektrums liegt, weißliche Farbentöne oder Weiß, falls nicht die Endfarben des Spektrums selbst gemischt werden. Unter der Voraussetzung, daß gleichen Empfindungen gleiche physische Prozesse zugrunde liegen, weist der erste dieser Sätze auf eine Abhängigkeit des Reizungsvorganges von der Lichtbewegung hin, nach welcher der aus zwei wenig verschiedenen Wellenlängen resultierende Prozeß identisch ist mit demjenigen, den die Reizung mit Wellen von der zwischenliegenden Größe erzeugt. Zugleich ist die hierbei mögliche Differenz für die längsten und kürzesten Wellen größer als für solche von mittlerer Länge. Hiernach läßt sich der obige zweite Satz des Mischungsgesetzes einfach auch so ausdrücken: Für jeden Teil der Farbenkurve gibt es einen gewissen Grenzwert des Farbenunterschieds, über den hinaus die resultierende Farbe einen verminderten Farbengrad zeigt, und diese Abnahme der Sättigung wächst zuerst bis zu einem Maximum, dem vollständigen Weiß (der Komplementärfarbe entsprechend), um sich dann wieder in entgegengesetzter Richtung zu ändern, wodurch sich die Farbenkurve als eine in sich zurücklaufende kundgibt. Letztere Tatsache findet überdies ihren Ausdruck in der unmittelbaren Empfindung, nach der die Anfangs- und Endfarbe des Spektrums wieder einander ähnlich werden und miteinander gemischt eine zwischen ihnen liegende gesättigte Farbe bilden (das Purpur), woraus zu schließen ist, daß auch die begleitenden physischen Vorgänge von verwandter Beschaffenheit sind.

Natürlich können nun die wesentlichen Eigentümlichkeiten dieses Gangs der Funktion der Lichtempfindungen in ihren Beziehungen zu den Lichtreizen, namentlich die in sich zurücklaufende Gestalt der Farbenkurve und die diametral entgegengesetzte Lage der Komplementärfarben, auch dann erhalten bleiben, wenn man die Voraussetzungen über die Qualitäten der einfachen Farbenkomponenten irgendwie ändert. So z. B. wenn jenseits des realen Spektrums noch gesättigtere Grundempfindungen an-

genommen werden, um, wie oben erwähnt, gewissen subjektiven Phänomenen der Farbenwirkung Ausdruck zu geben (S. 156). Wohl mit größerem Rechte noch fordert aber eine andere Erwägung zu abweichenden Konstruktionen des Farbensystems auf, die an sich dann eine analoge Bedeutung haben wie die dem Dreieck sich nähernde Farbentafel *RGV* in Fig. 190. Die Spektralfarben, auf die sich die Konstruktion dieser Tafel gründet, sind nämlich, eine so große Wichtigkeit sie, als die Farben höchsten Farbengrades, die wir objektiv herstellen können, praktisch für uns besitzen, doch im Grunde willkürlich gewählte Einheiten, da wir jeder Farbe neben ihrem Farbenton auch eine bestimmte, innerhalb gewisser Grenzen für sich variierbare Helligkeit zuschreiben. Nun hat man in der Regel angenommen, das NEWTONsche Gesetz der Farbenmischung sei entweder von der Helligkeit der Farben ganz unabhängig oder, wo es Abweichungen biete, da seien diese durch die variable Adaptation des Auges an die Farben von verschiedener Helligkeit bedingt. Wäre diese Voraussetzung zutreffend, so müßte auch die oben (Fig. 190) nach dem Verhältnis der spektralen Farbenmischungen konstruierte Farbentafel in ihrer Gestalt unverändert bleiben, wenn die Helligkeiten der einzelnen Farben verändert werden. Dies ist aber in Anbetracht der ziemlich irregulären und individuell nicht unerheblichen variierenden Gestalt der Farbenkurve an sich schon wenig wahrscheinlich. Auch bestätigt es sich tatsächlich nicht, wie sich dies besonders dann zeigt, wenn man die im Spektrum vorhandenen Unterschiede der Helligkeiten der Farben ausgleicht und diese demnach sämtlich auf gleiche Helligkeiten reduziert, um dann erst Mischungen der komplementären Pare zu Weiß vorzunehmen. Je mehr man sich diesen Grenzfall der gleichen Helligkeit aller Komponenten nähert, um so mehr nimmt nämlich die Abweichung der Farbenkurve *RGV* (Fig. 190) von einem regulären gleichseitigen Dreieck zu, die Punkte *R* und *V* rücken in immer weitere Ferne, und die ganze Kurve nähert sich so einer Hyperbel, die ihren Scheitel in *G* hat[1]. Da nun schon bei sonst normalen Sehorganen, noch mehr aber bei größeren Abweichungen der Farbenempfindlichkeit die Helligkeit der Farben im Spektrum Abweichungen darbietet, so repräsentiert die Kurve *RGV* offenbar nur ein gewisses mittleres Verhalten der spektralen Mischungswerte der Farben, um das mannigfache Schwankungen stattfinden können.

[1] ARTH. MITZSCHERLING, Psychol. Stud. Bd. 1, 1906, S. 107 ff. P. GLAN (PFLÜGERS Archiv, Bd. 39, 1886, S. 53 ff. WIEDEMANNS Annalen, Bd. 48, 1893, S. 307 ff.) hat umgekehrt festzustellen gesucht, daß sich, unter Berücksichtigung der verschiedenen Absorptionskoëffizienten der brechenden Medien und des Pigments im gelben Fleck die Farbenkurve einem Kreise nähere. Seinen Betrachtungen liegt aber offenbar die Voraussetzung einer objektiv gleichen Lichtstärke, nicht die einer subjektiv gleich erscheinenden Helligkeit zugrunde.

In allem dem gibt sich aber die Darstellung des Farbensystems in einem Dreieck oder in einer sich diesem annähernden Form, wie Fig. 190, als eine willkürliche zu erkennen, die, abgesehen von dem allgemeinen Prinzip additiver Verknüpfung stetig veränderlicher Größen, ihre Grundlage schließlich nur darin findet, daß das Dreieck neben dem Kreis die einfachste eine Fläche umschließende geometrische Form ist[1]. Zum Kreis führt dann in diesem Fall die Tatsache des stetigen Übergangs der Farben ineinander und der subjektiven Ähnlichkeit der Anfangs- und Endfarben des Spektrums; zum Dreieck die der Zusammensetzung zweier entfernter Farben, deren Distanz gewisse Grenzen nicht überschreitet, zu einer resultierenden Farbe, die in ihrer Qualität der im Spektrum zwischenliegenden gleicht. Der Dreieckskonstruktion müssen sich dann aber wiederum alle einzelnen Elemente des Empfindungssystems am einfachsten einordnen, wenn man die beiden Endfarben des Spektrums, Rot und Violett, zu symmetrisch sich gegenüberliegenden Eckpunkten des Dreiecks wählt. Dadurch ergibt sich dann von selbst als dritter Eckpunkt die mittlere Farbe des Spektrums, das Grün. Die Existenz der drei Grundfarben, d. h. die Möglichkeit, aus der Anfangs-, End- und Mittelfarbe alle Farbenempfindungen samt ihren Übergängen zu Weiß zu erzeugen, findet daher einerseits in der in sich zurücklaufenden Gestalt der Farbenlinie und anderseits in den Verhältnissen der Komplementärfarben ihre vollkommen zureichende Erklärung.

Statt des Mischungsgesetzes könnte man jedoch der Konstruktion der Farbenfläche, im Hinblick auf diese Beziehungen zum Farbenkreis, auch noch ein anderes Verhältnis zugrunde legen, das der Konstruktion der Farbenlinie nach Graden der Unterschiedsempfindlichkeit entspräche (S. 149). Es ließen sich nämlich die Abmessungen der Farbenflächen nach der Unterschiedsempfindlichkeit für Farbengrade ausführen. Eine Farbe, die eine größere Zahl von Abstufungen durchläuft, bis sie in Weiß übergeht, würde dann in größere Entfernung von dem Punkte der Farbentafel, der dem Weiß entspricht, zu verlegen sein. Solche Messungen der Unterschiedsempfindlichkeit für Sättigungsstufen sind jedoch bis jetzt nur in unzulänglicher Weise ausgeführt. So fand WOINOW[2] bei der Mischung mit Weiß die Unterschiedsschwelle für

Rot	Orange	Blau
$^1/_{120}$	$^1/_{144}$	$^1/_{160}$

Diese Bestimmungen, die mit rotierenden Scheiben gemacht wurden, zeigen wiederum, gleich den Farbenmischungsversuchen, daß die brech-

[1] Über das erwähnte Prinzip vgl. H. GRASSMANN, Die Ausdehnungslehre von 1844². 1878, S. XXVI, 39 ff.
[2] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 16, 1, 1870, S. 256.

bareren Farben einen größeren Sättigungswert besitzen, d. h. daß verhältnismäßig kleine Mengen derselben in Mischungen mit Weiß oder mit einer andern Farbe schon wirksam sind, was die sich in der Mischungskurve (Fig. 190) in der relativ weiten Entfernung des Punktes *V* von *W* ausspricht. Indem nun dieser Übergang in Weiß auch bei der Mischung zweier komplementärer Farben stattfindet, bemerkt man aber hierbei neben der Verminderung des Farbengrades stets zugleich eine Zunahme der Helligkeit. Das Weiß selbst erscheint daher gegenüber allen unter gleichen äußeren Bedingungen entstehenden Farben und Farbengraden als die hellste. Darum lassen sich die verschiedenen Helligkeitsgrade irgendwelcher Farben am einfachsten durch direkte Vergleichung mit einem Weiß von konstanter Helligkeit, also z. B. mit dem Weiß des Tageslichtes, bestimmen. Nach diesem Prinzip verglich schon FRAUNHOFER die relativen Helligkeiten der einzelnen Farben des Spektrums, indem er die Helligkeit des von einem kleinen Spiel reflektierten gemischten farblosen Sonnenlichtes so lange abschwächte, bis sie derjenigen der einzelnen Spektralfarbe gleich erschien[1]. Auf indirekte Weise suchte VIERORDT das nämliche dadurch zu erreichen, daß er die Quantität weißen Lichtes bestimmte, die jeder Spektralfarbe zugefügt werden muß, um eine minimale Änderung ihrer Sättigung zu erzielen; er ging dabei von der Voraussetzung aus, daß diese Quantität um so größer sein werde, je größer die Helligkeit der Farbe sei[2]. In der Tat stimmen die so erhaltenen Zahlen mit den von FRAUNHOFER gewonnenen ziemlich nahe überein. Setzt man die hellste Farbe des Spektrums, das Gelb zwischen den Linien *D* und *E*, = 1000, so fanden sich für die übrigen bei der Benutzung von Sonnenlicht als farbloser Lichtquelle folgende Werte:

		FRAUNHOFER	VIERORDT			FRAUNHOFER	VIERORDT
Rot	(*B*)	32	22	Grün	(*E*)	480	370
Orange	(*C*)	94	128	Blaugrün	(*F*)	170	128
Rötlichgelb	(*D*)	640	780	Blau	(*G*)	31	8
Gelb	(*D*—*E*)	1000	1000	Violett	(*H*)	5,6	0,7

Wechselnder verhalten sich je nach ihrer Sättigung Pigmentfarben, bei denen sich eine Bestimmung des relativen Helligkeitswertes durch die Vergleichung am Farbenkreisel vornehmen läßt, indem man zu einer gegebenen Farbe diejenige Mischung von Weiß und Schwarz herstellt, die der Farbe an Helligkeit gleicht. Die so vorgenommenen Vergleichungen ergeben bei größter Sättigung und gewöhnlicher Tagesbeleuchtung im

[1] FRAUNHOFER. Denkschriften der bayr. Akad. d. Wissensch. 1815. S. 193.
[2] VIERORDT, Die Anwendung des Spektralapparats zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. 1871.

allgemeinen eine mit der vorstehenden übereinstimmende Helligkeitsreihe[1]. Vergleicht man die obigen Zahlen mit der Lage der Farben auf der Mischungskurve der Spektralfarben (Fig. 190), so ist übrigens wiederum ersichtlich, daß sich dieselben umgekehrt verhalten wie die Entfernungen vom Punkte des Weiß; d. h. je gesättigter eine Farbe ist, eine um so geringere Helligkeit besitzt sie, und um so größer ist die Wirkung, die eine bestimmte Menge derselben in der Mischung mit andern Farben hervorbringt. Geht man dagegen immer von dem nämlichen subjektiven Empfindungswert aus, z. B. von derjenigen Intensität, bei der eben ein Erkennen der Farbe möglich ist, so scheint die Unterschiedsempfindlichkeit für den Helligkeitswechsel bei allen gesättigten Farben eine übereinstimmende zu sein[2].

Bei allen Erscheinungen, bei denen ein Übergang einer Farbenempfindung durch ihre abnehmenden Farbengrade oder Sättigungsstufen in Weiß zu beobachten ist, verhält sich hiernach das Weiß subjektiv durchaus den Farben analog. Es nimmt nicht nur innerhalb einer jeden Reihe von Farbengraden eine bestimmte, und zwar maximale Helligkeitsstufe ein, sondern es tritt selbst als eine bestimmte, dem Farbenton bei den eigentlichen Farben entsprechende Qualität auf. Das nämliche gilt auch für das Schwarz oder für irgend eine dem Schwarz sich nähernde Stufe des Grau, die man durch Mischung von Weiß und Schwarz erhalten kann. Nur sind hierbei die Helligkeitsverhältnisse die umgekehrten wie beim Weiß: während der Farbengrad beim Übergang einer Farbe in Schwarz gerade so abnimmt wie bei dem in Weiß, vermindert sich unter sonst gleich bleibenden Bedingungen der äußeren Beleuchtung die Helligkeit. Diese Erscheinungen zu- und abnehmender Helligkeit der Farben und der farblosen Empfindungen hängen nun aber bereits mit der dritten, neben Farbenton und Farbengrad fundamentalen Eigenschaft der Lichtempfindungen zusammen: mit der Intensität.

c. Stärke der Lichtempfindung.

Die Stärke der Lichtempfindung darf innerhalb gewisser Grenzen als ein von Farbenton und Farbengrad unabhängiger Bestandteil angesehen

---

[1] Kirschmann, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 462 ff. Götz Martius (und Kretzmann), Beiträge zur Psychologie und Physiologie, Heft 1, 1896, S. 95 ff. Bei der von Kirschmann angewandten Methode bestand die Probe auf die Richtigkeit der gefundenen Helligkeitswerte der Pigmentfarben darin, daß das einer gegebenen Farbe gleichende Grau der Farbe beigemischt. keine Helligkeitsänderung erzeugen durfte. Das Verfahren von Götz Martius bestand darin, daß er eine am Farbenkreisel von einem farbigen Ring umschlossene Fläche variierbaren Graus fixierte und dann beide Helligkeiten auf gleich einstellte.

[2] Charpentier, Comptes rend. 26. Mai 1884, Nr. 79, p. 971.

werden, da eine nach Farbe und Sättigungsgrad bestimmte Empfindung verschiedene Grade der Stärke besitzen kann. Zwar werden wir sogleich sehen, daß dieser Satz wesentliche Einschränkungen erfährt. Betrachten wir aber vorläufig die Intensität der Empfindung hier, wie in andern Sinnesgebieten, als eine unabhängig veränderliche Größe, so läßt sich dieselbe dem nach zwei Dimensionen konstruierten Kontinuum der Farben als dritte hinzufügen. Beschränkt man sich auf die unser gewöhnliches Empfindungssystem vollständig darstellende ebene Farbentafel, wie sie nach der Abstufung der Farben in Ton und Sättigung oder nach dem Mischungsgesetze konstruiert werden kann, so läßt sich demnach der einer jeden Lichtqualität zukommende Grad der Intensität als eine der Farbentafel an der betreffenden Stelle aufgesetzte senkrechte Linie darstellen. Nehmen wir die einfachste Form, den Kreis, und beginnen wir mit dem das Weiß bezeichnenden Mittelpunkt (Fig. 188, S. 149), so wird also die hier aufgesetzte Senkrechte alle Stufen des Weiß durch Grau bis zum Schwarz andeuten. Wollte man ein Maßprinzip zugrunde legen, so würde man wieder die minimalen Unterschiede als Maßeinheiten betrachten können. Die in dieser Beziehung für die Stärke des weißen Lichtes sowohl wie der einzelnen Farben gefundenen Werte sind schon bei der Erörterung der Intensität der Empfindung (Kap. IX, Bd. 1, S. 669) angeführt worden. Nach den dort mitgeteilten Zahlen ist die Unterschiedsempfindlichkeit für die Lichtintensität im Rot am kleinsten ($^1/_{48,5}$); sie nimmt dann bis zum Blau zu ($^1/_{53,5}$) und gegen das Violett wieder ab, während sich dagegen die Reizschwelle mit der Abnahme der Wellenlänge stetig vermindert.

Versucht man es nun aber, demgemäß die Intensitätsgrade aller Farben und ihrer Mischungen als eine der Farbenfläche hinzugefügte Höhendimension zu behandeln, so stellt sich heraus, daß diese Konstruktion nicht für jede Qualität unabhängig durchgeführt werden kann. Die Empfindung Rot z. B. wird bei Abschwächung der Lichtintensität nicht bloß in ihrer Stärke, sondern immer zugleich in ihrem Farbenton und in ihrer Sättigung vermindert, bis sie endlich in Schwarz, also in dieselbe Empfindung übergeht, die der geringsten Intensität des weißen Lichtes entspricht. Das nämliche zeigt sich bei allen andern Farbenempfindungen. Diese Unterschiede werden uns unten bei den Erscheinungen der Adaptation der Netzhaut (d) näher beschäftigen. Abstrahieren wir einstweilen von ihnen, so läßt sich aber offenbar, wenn man die oben für Farbenton und Farbengrad benutzte geometrische Symbolik fortführt, die Lichtstärke als eine dritte Dimension dieses Empfindungssystems jenen beiden hinzufügen. Das ganze System der Lichtempfindungen kann dann, falls man wieder den Kreis als Farbenfläche benutzt, durch einen Kegel mit kreisförmiger

Basis hergestellt werden, dessen Spitze dem Schwarz entspricht. In den einzelnen parallel zur Basis geführten Schnitten folgen dann von unten nach oben die lichtschwächeren Farben und in der Mitte das Grau in stetiger Abstufung. In analoger Weise lassen sich aber auch diejenigen Veränderungen veranschaulichen, welche die Lichtempfindung erfährt, wenn die Lichtstärke vermehrt wird. Die Beobachtung zeigt nämlich, daß es eine bestimmte Lichtstärke gibt, bei der die Sättigung der einfachen Farben des prismatischen Spektrums am größten ist. Die dem Maximum der Farbenempfindung zukommende Intensität, die wahrscheinlich wieder nicht für alle Farben die gleiche ist, wurde bis jetzt noch nicht näher bestimmt. Fest steht jedoch, daß sich von ihr ausgehend der Farbengrad nicht nur durch Abnahme, sondern auch durch Zunahme der Lichtstärke vermindern kann. Wie im ersten Fall schließlich alle Farben in Schwarz übergehen, so nähern sie sich aber im zweiten dem Weiß. Läßt man z. B. die Lichtstärke des Spektrums allmählich wachsen, indem man den Spalt für den auf das Prisma gelenkten Lichtstrahl (Fig. 187, S. 147) stetig erweitert, so breiten sich Gelb und Blau nach beiden Seiten aus, und es gehen mit zunehmender Intensität zunächst Rot, Orange und Grün in Gelb, dagegen Grünblau und Violett in weißliches Blau über, worauf dann zuerst das Blau und zuletzt das Gelb sich in Weiß umwandelt. Nun sind diese Veränderungen teilweise freilich durch die Übereinanderlagerung von Licht verschiedener Wellenlänge, also durch die Farbenmischung bedingt, die mit der zum Behuf der Vermehrung der Lichtstärke angewandten Verbreiterung des Spaltes für das in das Prisma eintretende Licht verbunden ist. Immerhin beruht ein wesentlicher Teil der eintretenden Verminderung des Farbengrades wahrscheinlich auch auf der Zunahme der Lichtstärke[1]. Denken wir uns demnach, der Farbenkreis stelle das System der Farbenempfindungen bei den dem Maximum der Sättigung entsprechenden Lichtstärken dar, so wird der dem Schwarz korrespondierenden Spitze, in der bei sehr verminderter Lichtstärke alle Empfindungen zusammenlaufen, auf der andern Seite der Kreisfläche eine dem intensivsten Weiß entsprechende Spitze gegenüberliegen, wo sich bei einer aufs höchste gesteigerten Lichtstärke schließlich alle Empfindungen vereinigen würden. Das ganze System der Lichtempfindungen kann also durch einen Doppelkegel mit einer beiden Kegelhälften gemeinsamen Basis dargestellt werden, wobei der diese Basis begrenzende Kreis die Farben der größten Sättigung enthält. Statt des

[1] An einer ohne diese Fehlerquelle ausgeführten Untersuchung der Lichtverstärkung des Sonnenspektrums fehlt es leider noch. Auch ist sie begreiflicher Weise, wenn überhaupt ausführbar, mit sehr viel größeren Schwierigkeiten verbunden als die umgekehrte Intensitätsänderung.

Doppelkegels kann man auch eine Doppelpyramide oder, als einfachste Form, eine Kugel wählen, in deren Äquatorialebene die Farben der größten Sättigung und die daraus durch Mischung herstellbaren Farbenstufen liegen, während der eine Pol dem absoluten Weiß, der andere dem absoluten Schwarz entspricht, wenn wir unter diesen Bezeichnungen diejenigen Empfindungen verstehen, die durch weitere Vermehrung oder Verminderung der Lichtstärke nicht mehr verändert werden können (Fig. 191). Auf der die beiden Pole verbindenden Linie befinden sich dann die farblosen Lichtarten vom absoluten Weiß bis zum absoluten Schwarz in stetigen Abstufungen[1].



Fig. 191. Farbenkugel.

Indem in eine solche geometrische Darstellung des gesamten Systems der Lichtempfindungen die durch die Variationen der Stärke des farblosen Lichtes verursachten Abstufungen zwischen Weiß und Schwarz als eine den Veränderungen des Farbentones und des Farbengrades analoge dritte Dimension mit eingehen, kommt nun aber hierin zugleich eine dem Empfindungssystem des Gesichtssinns durchaus eigentümliche Erscheinung zum Ausdruck. Sie besteht darin, daß wir das Weiß und Schwarz sowie die zwischen beiden gelegenen, im allgemeinen unter dem Namen des Grau zusammengefaßten Übergänge nicht bloß als Intensitätsgrade, sondern zugleich als qualitative Unterschiede, und zwar Weiß und Schwarz

[1] Um bei der Konstruktion des Farbensystems zugleich die Lichtstärken zu berücksichtigen, fügte zuerst LAMBERT der gewöhnlichen Farbentafel die dritte Dimension hinzu und konstruierte so eine Farbenpyramide, in deren Spitze er das Schwarz verlegte. LAMBERT, Beschreibung einer mit dem CALAUschen Wachse ausgemalten Farbenpyramide. 1772.) Diese Konstruktion fußt auf dem Übergang aller Farbenempfindungen in Schwarz bei verminderter Lichtstärke. Die Konstruktion in einer Kugel, die den Übergang in Weiß und in Schwarz gleichzeitig darstellt, ist zuerst von dem Maler PHILIPP OTTO RUNGE ausgeführt worden. (Die Farbenkugel oder Konstruktion des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zueinander. 1810.) Auch die Konstruktion einer Doppelpyramide der Farben hat derselbe angedeutet. (Ebend. S. 8.) CHEVREUL (Exposé d'un moyen de définir et de nommer les couleurs. 1861. Atlas) teilt zehn Farbenzirkel mit, in denen sehr schön die Übergänge der gesättigten Farben zu Schwarz dargestellt sind. Eine besondere Figur (Tafel II) gibt für eine Farbe, das Blau, in 20 Abstufungen die Übergänge einerseits in Schwarz und anderseits in Weiß. Alle diese Arbeiten verfolgen übrigens hauptsächlich künstlerische Interessen.

als Gegensätze empfinden, ja daß uns diese Auffassung bei der Betrachtung schwarzer und weißer Pigmente die näher liegende scheint. Aus dieser Tatsache sind offenbar alle diejenigen Lichttheorien von ARISTOTELES bis auf GOETHE hervorgegangen, die aus Schwarz und Weiß alle Lichtarten entstehen lassen wollten: sie übertrugen eine subjektive Wahrnehmung auf den objektiven Vorgang. Ist dies auch ungerechtfertigt, so fordert nun immerhin die unleugbare Tatsache jener qualitativen Auffassung eine Erklärung. Die Beziehung auf helle und dunkle Objekte mag begünstigend auf die Fixierung der Unterschiede gewirkt haben. Sie reicht jedoch nicht aus, um deren Entstehung begreiflich zu machen, da wir das Schwarz auch dem dunkeln Gesichtsfeld bei Ausschluß aller Objekte zuschreiben. Wohl aber scheint diese Beobachtung darauf hinzuweisen, daß das Schwarz aus irgendeinem von allen äußeren Lichterregungen verschiedenen inneren Erregungszustand der Netzhaut hervorgeht, der die Eigenschaft haben muß, nicht nur jene äußeren Erregungen in größerer oder geringerer Stärke zu begleiten, sondern auch anzudauern, nachdem sie verschwunden sind. Die Frage, wie ein derartiger Vorgang zu deuten sei, wird erst die Theorie der Lichtempfindungen zu beantworten haben (vgl. unten h und i). Immerhin werden wir vorläufig von der Voraussetzung eines solchen, der Empfindung des Dunkeln entsprechenden inneren Erregungszustandes als der einfachsten Gebrauch machen können. Denn sie schließt keinerlei Hypothesen über die Natur dieses Zustandes in sich, während sie doch im allgemeinen darüber Rechenschaft gibt, daß das Schwarz zu der als Weiß empfundenen Lichterregung die mannigfachsten Übergänge darbietet, und daß wir jede Intensitätsänderung des Lichtes zugleich als eine Qualitätsänderung auffassen, da eben nach ihr der Wechsel der Empfindungen Schwarz und Weiß in der Tat neben der intensiven immer auch eine qualitative Reizänderung bedeutet[1].

Die Methoden zur Untersuchung der Lichtempfindungen nach ihren drei bis dahin erörterten Faktoren, Farbenton, Farbengrad und Lichtstärke, schließen sich eng an die physikalischen Methoden der Zerlegung und Mischung der Lichtwellen an. Zur Gewinnung von Farbeneindrücken von spektraler Sättigung bedient man sich, wie schon erwähnt, am zweckmäßigsten der Farbenzerstreuung durch Prismen. Für die Erzielung eines reinen Spektrums, in dem die einzelnen Wellenlängen möglichst voneinander gesondert sind, und für die Abstufung der Helligkeitsgrade sind

[1] Hiernach ist es selbstverständlich nicht zulässig, jene Dauererregung des dunkeln Gesichtsfeldes, die der Empfindung Schwarz entspricht, mit dem Lichtstaub desselben und andern subjektiven Lichtphänomenen, die man im Dunkeln beobachtet, zusammenzuwerfen, wie dies zuweilen geschah. Diese Phänomene sind immer weiß oder farbig, und sie mischen sich, wie alle andern Lichterregungen, mit dem Schwarz des dunkeln Gesichtsfeldes.

aber noch verschiedene Hilfsvorrichtungen erforderlich. Die Fig. 192 zeigt in schematischer Darstellung eine zu den verschiedensten Zwecken, sowohl für exakte Qualitäts- wie Intensitätsuntersuchungen, brauchbare Versuchsanordnung. Durch einen Spalt S_1 im Laden eines Dunkelzimmers läßt man das vom Spiegel eines Heliostaten reflektierte Sonnenlicht fallen. In kleiner Entfernung von S_1 befindet sich ein feinerer Spalt S_2, dessen Breite durch eine Mikrometerschraube zu variieren ist, unmittelbar vor ihm das zur Herstellung des Spektrums dienende große Flintglasprisma p. Dasselbe ist, um die zu einer bestimmten Versuchsanordnung erforderliche Stellung immer leicht wiederfinden zu können, um seine Längsachse drehbar auf einem geteilten Kreis befestigt. Vor dem Prisma ist eine große achromatische Linse L_1 von beträchtlicher Brennweite aufgestellt, in deren Brennpunkt sich der Schirm S_3 befindet, auf dem das Spektrum entworfen wird. Dieses besteht aus den einzelnen Farbenbildern des Spaltes S_2, die ohne Anwendung einer Linse

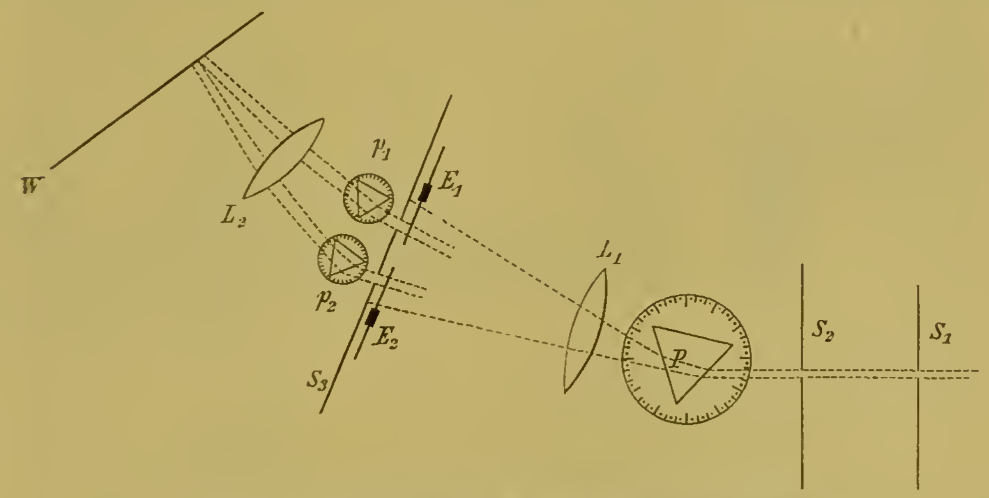


Fig. 192. Universalapparat für Spektraluntersuchungen.

zum Teil übereinandergreifen, durch die letztere aber schärfer gesondert werden. In dem Schirm S_3 sind verschiebbare Spaltvorrichtungen angebracht, die es gestatten, beliebige Strahlengattungen aus dem Spektrum durch den Schirm hindurchzulassen. Sie werden dann zunächst durch kleine Crownglasprismen p_1, p_2 gebrochen, die wieder ähnlich wie p aufgestellt sind und an Kreisteilungen orientiert werden können. Diese Prismen sind dazu bestimmt, den zu untersuchenden Strahlen die geeignete Richtung zu geben, sie also z. B., wie in der Figur, auf einer Wand zum Behuf der genauen Vergleichung dicht nebeneinander (oder auch bei Benutzung übereinander gelegener Spalten im Schirm S_3 übereinander) aufzufangen, oder sie zu mischen. Will man die Lichtintensitäten variieren, so wird vor jedem der benutzten Spalte in S_3 ein Episkotister E_1, E_2 von der Bd. 1, Fig. 157, S. 663 beschriebenen Einrichtung angebracht. Die durch die Prismen p_1, p_2 gebrochenen Strahlen können entweder mittels eines Fernrohrs betrachtet oder auf einer weißen Wand W aufgefangen und aus bequemer Sehweite mit freiem Auge beobachtet werden. Im letzteren Fall ist es zweckmäßig, zwischen den Prismen und

der Wand nochmals eine Linse L_2 so aufzustellen, daß durch sie deutliche Bilder der Spalte S_3 auf W entworfen werden. Da Sonnenlicht bei unserem meist bewölkten nordischen Himmel leider oft nicht zur Verfügung steht, so muß man zum Ersatz desselben eine künstliche Lichtquelle in Bereitschaft haben. Für viele Zwecke ist diese überdies vollkommen ausreichend; in andern Fällen kann sie wenigstens die mit Sonnenlicht vorzunehmenden Versuche vorbereiten. Man bedient sich dazu am besten eines im Vorraum des Dunkelzimmers jederzeit zum Ersatz der Sonne bereit stehenden elektrischen Bogenlichts, das entweder durch eine achromatische Linse oder durch ein ebenfalls annähernd achromatisches HUYGENSsches System (zwei große zentrierte und um den Betrag ihrer Brennweiten voneinander entfernte Linsen) auf den Spalt S_1 konzentriert wird.

Will man in einer längeren Reihe von Versuchen auf die Anwendung von Sonnenlicht verzichten, so läßt sich eine feste Versuchsanordnung, die in allem wesentlichen der in Fig. 192 abgebildeten entspricht, auch mittels

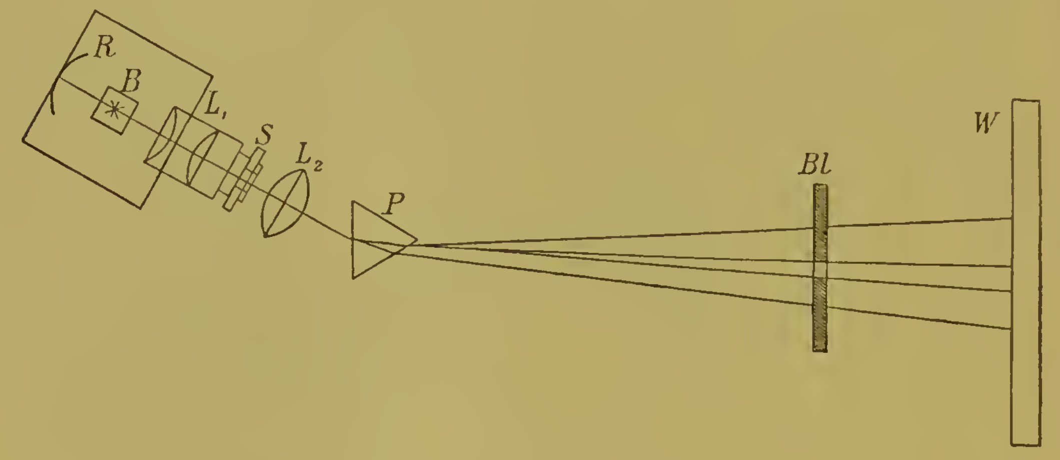


Fig. 193. Skioptikoneinrichtung zu Spektralversuchen.

des Skioptikons, wie es zu Demonstrationszwecken gegenwärtig in den Laboratorien allgemein benutzt wird, herstellen. Man läßt das Skioptikon mit einer drehbaren optischen Bank versehen, auf der die verschiedenen Apparate aufgestellt werden können. Die Fig. 193 zeigt eine solche für Untersuchungs- wie besonders auch für Demonstrationszwecke sehr bequeme Einrichtung in schematischem Umriß. Im Innern des Skioptikonkastens befindet sich die regulierbare Bogenlampe B, hinter ihr ein reflektierender weißer Schirm R. Vor dem Linsensystem L_1 des Skioptikons wird die mit einer Mikrometervorrichtung versehene Spaltvorrichtung S und vor dieser eine achromatische Linse L_2 angebracht, welche, ehe das Prisma P eingeschaltet ist, auf der auffangenden Fläche W ein lineares Bild des Spaltes entwirft: dann wird das Flintglasprisma P oder bei Demonstrationsversuchen wegen der größeren Dispersion der Strahlen ein mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Glasprisma nahe hinter der Linse eingeschaltet. Objektiv lassen sich bei dieser Anordnung die Farbenmischungen sehr schön auf der Wand W ausführen, wenn man nach der von O. ZOTH[1] angewandten Methode eine Spaltvorrich-

[1] O. ZOTH, PFLÜGERS Archiv, Bd. 70, 1898, S. 1 ff.

tung mit zwei Spalten s_1 und s_2 (Fig. 194 *A*) benutzt, die in einer etwas verschiedenen Höhe angebracht und mittels einer Mikrometerschraube verschiebbar sind. Man erhält so zwei Spektren Sp_1 und Sp_2, die in der in Fig. 194 *B* dargestellten Weise übereinander greifen, und aus denen mittels einer zwischen Prisma und Auffangfläche eingeschalteten Blendung (*Bl* Fig. 193) irgendein vertikaler Streifen, wie *a b*, isoliert werden kann. An einem solchen sieht man dann oben und unten die beiden Komponenten, in der Mitte, bei *m*, die Mischfarbe. Durch Verschiebung der Spalte s_1 und s_2 lassen sich auf diese Weise sukzessiv die verschiedensten Farbenmischungen herstellen und die Komplementärfarbenpaare aufsuchen.

Statt der beschriebenen objektiven Methoden der Herstellung und Mischung einfacher Spektralfarben, die für Demonstrationszwecke allein verwendbar, bei genauer Ausführung aber auch für Untersuchungszwecke, im Hinblick auf die fast beliebig variierbare Größe der Farbenflächen, die Möglichkeit exakter Abstufungen der Lichtstärke mittels der Episkotister usw., große Vorzüge besitzen, kann man nun auch subjektive Methoden anwenden, bei denen die durch die Brechung im Prisma gewonnenen Spektralfarben und ihre auf irgendeine Weise hergestellten Mischungen direkt durch ein Fernrohr oder eine andere geeignete optische Vorrichtung in das Auge des Beobachters geleitet werden. Bei dieser subjektiven Methode lassen sich im allgemeinen noch bequemer als bei der objektiven die erforderlichen optischen Vorrichtungen zu festen, jederzeit verfügbaren Apparaten vereinigen; freilich ist man dann aber auch auf künstliche Lichtquellen angewiesen. Im allgemeinen haben die gebräuchlichen Spektroskope als Vorbilder solcher Apparate gedient. Falls es sich nur um die Untersuchung der einfachen Farben, nicht um Farbenmischungsversuche handelt, ist unter diesen Vorrichtungen der VIERORDTsche Spektralapparat, der nebenbei noch zu allen sonstigen spektroskopischen Zwecken, z. B. zur Prüfung farbiger Gelatinekombinationen und Strahlenfilter auf ihre spektrale Reinheit, benutzt werden kann (s. unten), das einfachste und nützlichste Instrument[1]. Bei ihm ist lediglich die gewöhnliche Form des Spektralapparates mit einer Hilfsvorrichtung versehen, welche die Isolierung eines beliebigen kleinen Teils des Spektrums und die Vergleichung zweier solcher Teile möglich macht. Zu diesem Zweck ist innerhalb der Okularrohre in der Brennweite der Okularlinse eine Spaltvorrichtung angebracht, die aus zwei unabhängig verstellbaren, übereinander liegenden vertikalen Spalten besteht, deren jeder ebensowohl in seiner Breite wie in seiner Lage zum

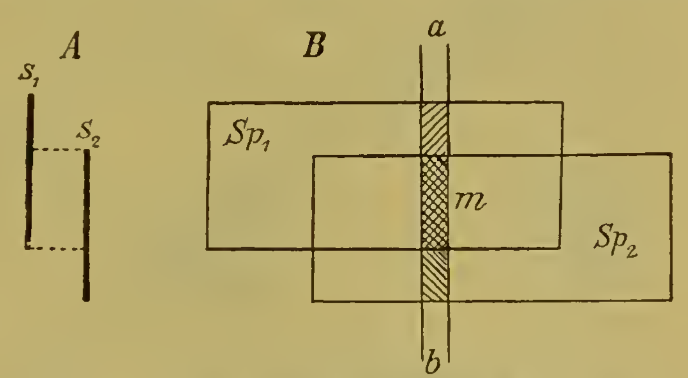


Fig. 194. Beweglicher Doppelspalt für spektrale Farbenmischungen.

[1] VIERORDT, Die Anwendung des Spektralapparats zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. 1878.

Spektrum verändert werden kann. Namentlich zur Prüfung Farbenblinder in bezug auf die Erkennung und Unterscheidung von Spektralfarben ist diese Einrichtung brauchbar.

Einer vielseitigeren Verwendung ist der überaus sinnreich konstruierte HELMHOLTZsche Farbenmischapparat fähig[1]. Auch er beruht darauf, daß man zwei in einem und demselben Prisma durch zwei Spalte entworfene Spektren mit beliebigen ihrer Teile zur Deckung bringt und so die gewünschten Mischfarben erzeugt. Auf einem großen eisernen, mit Stellschrauben versehenen Dreifuße (Fig. 195) steht eine starke Säule mit dem Prismenteller

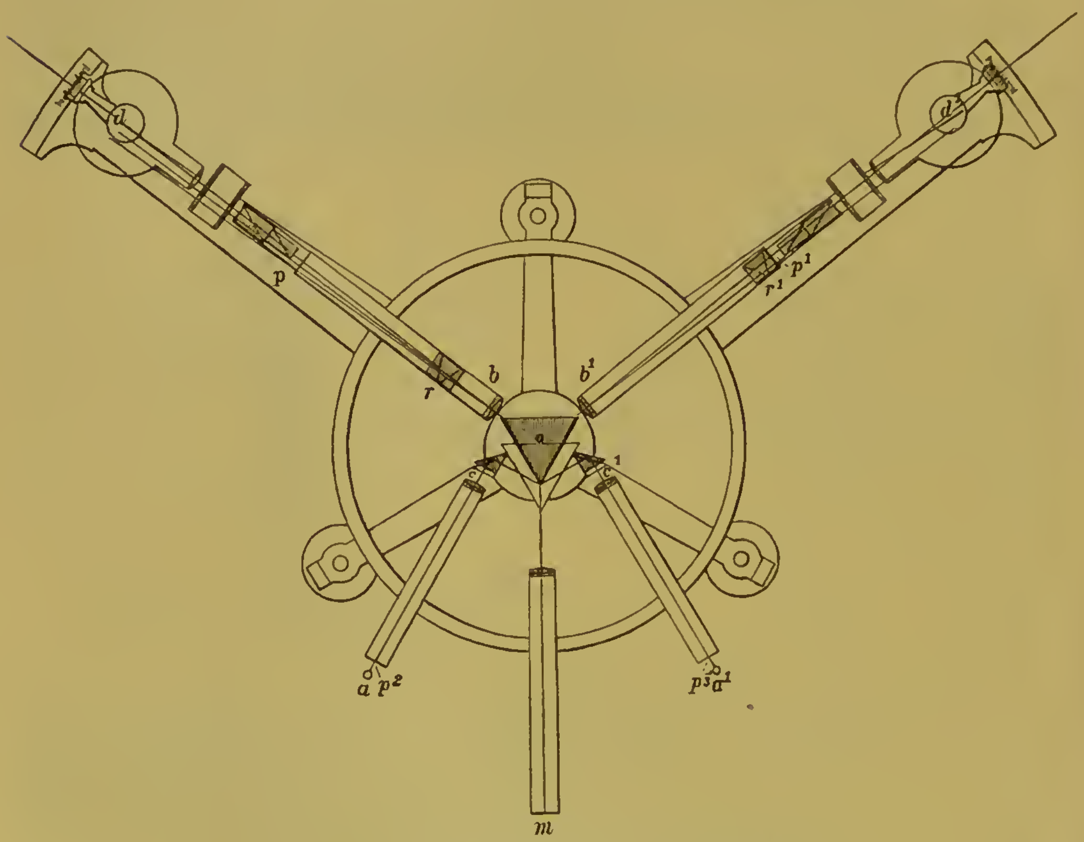


Fig. 195. Farbenmischapparat nach HELMHOLTZ.

o, mit dem das ohne Okular zu verwendende Beobachtungsrohr m fest verbunden ist. Zwei Kollimatorröhren $p\ b$ und $p^1\ b^1$ sind mittels Alhidaden und Zapfen um o drehbar; und mit ihnen drehen sich durch Mikrometerschrauben zugleich die beiden Lampen d und d^1. Eine Verlängerung der Alhidaden gibt auf einem Kreissegment die Stellungen der Kollimatoren in $^1/_{100}$ Grad ausgedrückt an. Bei p, p^1, p^2 und p^3 befinden sich bilaterale Spalte, d. h. solche, bei welchen beide Backen entgegengesetzt gleichmäßig bewegt werden können. Ein ebensolcher kleinerer Spalt ist am Beobachtungsfernrohre

[1] HELMHOLTZ, Physiolog. Optik², S. 355 ff. ARTH. KÖNIG, WIEDEMANNS Annalen, Bd. 22, 1884, S. 572. SCHMIDT und HAENSCH, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 13, 1893, S. 200 ff.

im Punkte *m* angebracht. Alle diese Spalte sind mit mikrometrischer Ablesung versehen. Für das Fernrohr liegt dem Apparate ein aufsteckbares Okular bei, mit dessen Hilfe dasselbe auf unendlich eingestellt wird, so daß der Spalt bei *m* genau im Bildpunkte liegt. Dann gibt jeder der beiden Kollimatoren, wenn er erleuchtet und mit dem Objektiv ausgerüstet wird, ein Spektrum in *m*. Der Apparat ist richtig eingestellt, wenn sich beide Spektren derart decken, daß die Lage eine entgegengesetzte ist: die rote Region vom rechten Kollimator erscheint in *m* links, während vom linken an dieser Stelle die blaue Region liegt. Mittels Mikrometerschrauben können nun beide Kollimatoren und hiermit auch die Spektren verschoben werden. Wenn demnach im Okularspalt eine Region des Spektrums aus dem einen Kollimator fixiert ist, so kann durch die Mikrometerschraube des zweiten Kollimators ein beliebiger Teil vom andern Spektrum mit der fixierten Region zur Deckung gebracht und so eine Mischfarbe aus zwei verschiedenen Spektralregionen hergestellt werden. Innerhalb der Kollimatoren befinden sich ferner die doppeltbrechenden Prismen r und r^1. Dieselben lassen sich durch Zahn und Trieb vom Spalt bis zum Objektiv beliebig bewegen; eine Millimeterskala gibt die jedesmalige Stellung an. Die brechende Kante dieser Prismen steht parallel zum Spalt. Findet nicht gerade absolute Berührung zwischen dem Prisma und dem Spalte statt, so wird daher ein Doppelbild des Spaltes entworfen, bzw. jeder Kollimator entwirft zwei Spektren, die rechtwinklig zueinander polarisiert sind. Je weiter die Prismen vom Spalt abstehen, um so mehr rücken diese Spektren übereinander, so daß schließlich Rot mit Blau zur Deckung gebracht werden kann. Entfernt man nun das Okular aus dem Fernrohr, und bringt man das Auge dicht an den Spalt *m*, so erscheint das Objektiv in zwei farbige Hälften geteilt, beide durch eine vertikale Linie getrennt, die durch die vordere Kante des Prismas *o* gebildet wird (Fig. 196 *A*). Wird das Prisma *o*, statt ihm die in der Fig. 195 durch die Schattierung angedeutete Stellung zu geben, etwas weiter nach vorn, in die durch die einfache Umgrenzung angedeutete Lage gebracht, so greifen dagegen, wie die Verfolgung der Strahlen durch das Prisma leicht erkennen läßt, die beiden Spektren mit ihren inneren Teilen übereinander, und das dem Auge in *m* erscheinende Bild hat nun die in Fig. 196 *B* erscheinende Form. Diese Teilung in drei Felder ist aber wegen der damit verbundenen Verkleinerung der farbigen Flächen ungünstiger[1]. Weiterhin ist dann noch die Einrichtung getroffen, daß nicht allein durch die Verengerung oder Erweiterung der Spaltöffnungen der Kollimatoren eine verschiedene Helligkeit der Farben hergestellt werden kann, sondern daß auch jedes der einzelnen Spektren für sich in seiner Stärke zu variieren ist. Dies



Fig. 196. Gesichtsfeld des HELMHOLTZschen Apparates: *A* bei gewöhnlicher, *B* bei vorgeschobener Lage des Prismas.

[1] An dem ursprünglichen HELMHOLTZschen Apparat hatte das Prisma die zuletzt erwähnte Stellung (Physiolog. Optik², Fig. 142, S. 355). Auch ist diese Stellung zusammen mit einigen weiteren Hilfsvorrichtungen von A. KÖNIG benutzt worden, um das Instrument zugleich als Polarisationsphotometer zu verwenden.

geschieht, indem vor die beiden Spalte noch zwei große GLANsche Nikols p und p^1 mit Teilkreis für Minutenablesung gebracht worden sind. Durch die Stellung dieser Nikols zu den in den Kollimatoren befindlichen doppeltbrechenden Prismen r und r^1 kann daher die durchgehende Lichthelligkeit nach Wunsch verändert werden. Zum Schutz gegen die Wärmestrahlen der Lampen d und d^1 (Gas-Triplexbrenner) befindet sich zwischen diesen und den Nikols noch je ein mit Wasser gefüllter Absorptionskasten. Endlich hat ARTH. KÖNIG, um eventuell jedem der beiden Spektren auch noch weißes Licht beimischen zu können, zwei weitere Kollimatoren ac und a^1c^1 an dem Instrument anbringen lassen. Dieselben reflektieren das Licht ihrer durch die kleinen Lampen a und a^1 erleuchteten Spalte mittels der bei c und c^1 angebrachten total reflektierenden kleinen Prismen nach m. Gewöhnlich werden jedoch dem Instrument diese Hilfskollimatoren für weißes Licht nicht beigegeben. Auch sind sie entbehrlich, da sich eine genauere quantitative Abstufung des zugelassenen Lichtes nicht vornehmen läßt. Überhaupt ist der Apparat zur Untersuchung der verschiedenen Formen der Farbenblindheit in vorzüglicher Weise geeignet. Sobald es sich aber um quantitative Bestimmungen handelt, bei denen genaue und gleichmäßige Abstufungen der Helligkeiten und Sättigungen erfordert werden, so sind ihm die Methoden der objektiven Entwerfung des Spektrums, bei denen sich die Episkotisterabstufung verwenden läßt, überlegen, um so mehr da sie überdies günstigere, den Beobachter weniger durch die ausstrahlende Wärme belästigende Lichtquellen und unter Umständen die Verwendung von Sonnenlicht möglich machen.

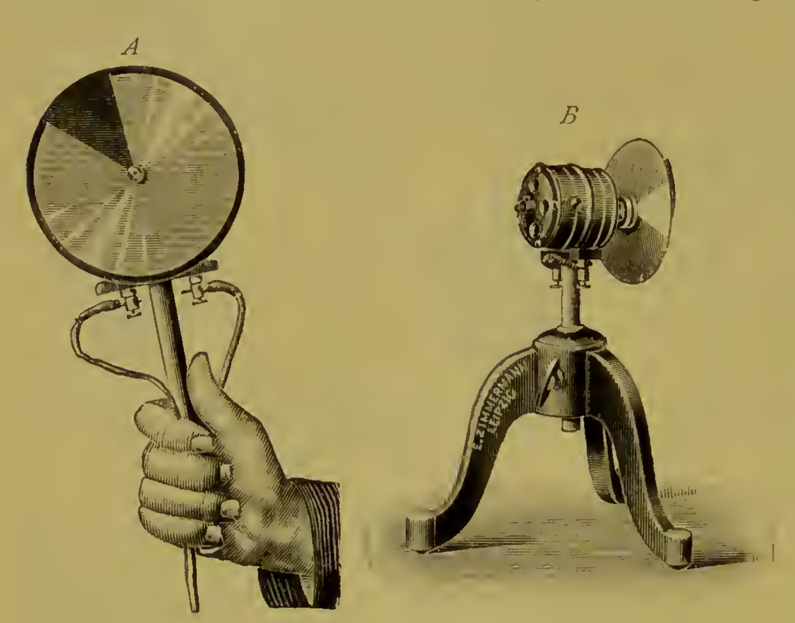


Fig. 197. Elektromotorische Farbenkreisel: *A* mit Handgriff, *B* mit festem Stativ.

Neben der, wo sie durchführbar ist, natürlich immer vorzuziehenden Anwendung der Farben des Spektrums läßt sich schließlich für viele Zwecke die bequemere und in viel mannigfaltigeren Formen mögliche Verwertung der Pigmentfarben nicht entbehren. Ausgeschlossen ist allerdings die direkte Mischung von Malerfarben, weil dabei eine Komplikation von Absorptions- und Mischungswirkungen entsteht, in der die ersteren wegen der Übereinanderlagerung der Pigmentteilchen meist sehr überwiegen[1]. Die allein zulässige Methode, Pigmentfarben zu mischen, besteht daher in der Mischung rasch sich folgender Eindrücke, wie sie in der zweckmäßigsten Weise bei der

[1] HELMHOLTZ, Physiolog. Optik[1], S. 272, [2] S. 311 f.

Anwendung des Farbenkreisels stattfindet, der in seinen verschiedenen Formen schon aus Anlaß der mit ihm ebenfalls leicht auszuführenden Intensitätsabstufungen des Lichtes besprochen wurde (Bd. 1, S. 661 ff.). Die bequemste Form ist der Farbenkreisel, der durch ein Federuhrwerk oder durch einen kleinen direkt an seinem Stativ angebrachten Elektromotor in Rotation versetzt wird (Fig. 197). Durch eine Schraube kann die Rotation momentan gehemmt oder in Gang gebracht werden. Ein brauchbarer Apparat muß eine Scheibe von 20 cm Durchmesser noch in so rasche Bewegung setzen, daß selbst bei Anwendung von nur wenigen Sektoren eine vollkommene Mischung eintritt und kein Flimmern mehr zu beobachten ist. Für Versuche, bei denen es sich um eine schnelle Vergleichung mehrerer Scheiben handelt, muß man mehrere solcher Rotationsapparate zur Verfügung haben, die auf mobilen oder an den Experimentiertisch angeschraubten Stativen befestigt sind (Fig. 197 *B*). Sobald jedoch eine konstante, genau meßbare und eventuell variable Geschwindigkeit hergestellt werden soll, sind diese Apparate nicht mehr brauchbar, sondern man bedient sich dann am besten eines durch einen Schnurlauf mittels eines Elektromotors in Bewegung zu setzenden Apparats, bei dem durch Variation der Stromstärke und mehrfache Übertragungen die Geschwindigkeit reguliert wird. Sehr nützlich ist außerdem für viele Fälle der Rotationsapparat mit während der Rotation variabeln Sektoren. Dabei kann man sich entweder des bereits früher beschriebenen Apparats von MARBE (Bd. 1, Fig. 158, S. 664) oder eines von LUMMER und BRODHUN konstruierten, der sich besonders zu exakten quantitativen Bestimmungen besser eignet, bedienen. Die Fig. 198 zeigt denselben in etwas vereinfachter Form. Bei ihm sind die bei dem MARBE-Apparat durch die Dehnung oder Zerreißung der Schnüre eventuell eintretenden Störungen dadurch vermieden, daß sich in einem Mantelrohr *N* eine mit Spiralnuten versehene Achse *a* befindet, die sich durch eine mit Teilungsmarken versehene Stellschraube *R* vor- und rückwärts bewegen läßt. Führungsstifte des Rohres, die in die Nuten eingreifen, bewirken hierbei eine Drehung gegen die Welle *w*, die von einem Elektro-

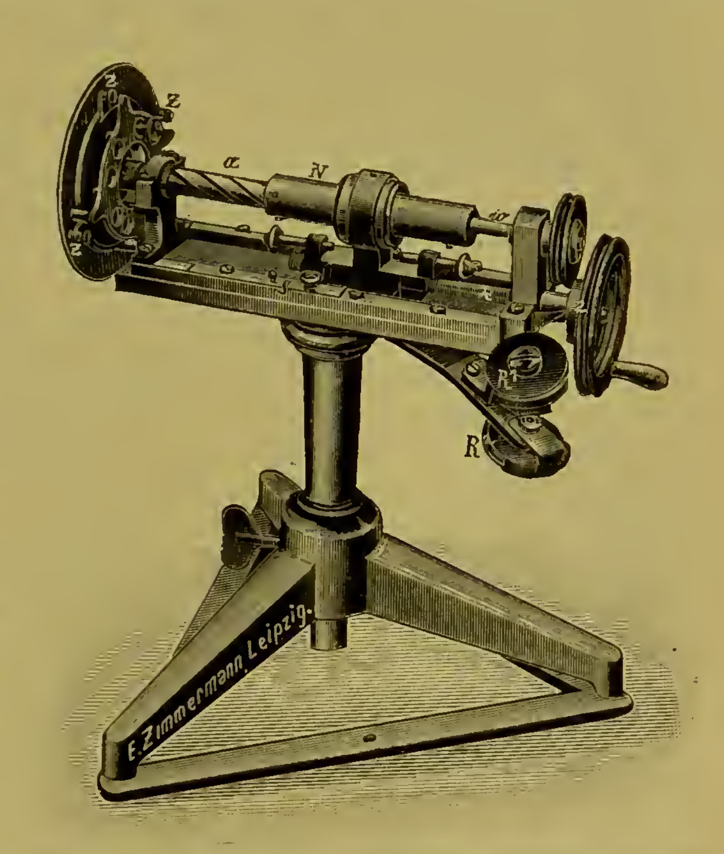


Fig. 198. Farbenkreisel mit während der Rotation verstellbaren Scheiben, nach LUMMER und BRODHUN.

motor aus durch einen Schnurlauf bewegt wird. An den Teilungsmarken der Schraube R kann dann die Stellung der Farbenscheiben zueinander um je $^1/_2$ Grad verändert werden. Zum Zweck der Vergleichung der variabeln Mischungseffekte mit einer während der Rotation konstant bleibenden Empfindung kann überdies in der Mitte des rotierenden Kreises Z eine kleinere Scheibe mit unveränderlichem Sektorenverhältnis angebracht werden[1]. Zur Helligkeitsbestimmung der bei den rotierenden Scheiben zur Verwendung kommenden dunklen Pigmente, namentlich des Schwarz, das dann selbst wieder zusammen mit reinem Weiß zu weiteren Helligkeitsbestimmungen dient, bedient man sich der Bd. 1, S. 663 angeführten Episkotistermethode.

Da auch die schönsten farbigen Papiere, die selbstverständlich stets vollkommen glanzlos sein müssen, immer nicht nur viel weißes Licht, sondern auch andere Farben enthalten, so bietet übrigens die Benutzung durchsichtiger farbiger Gläser und namentlich die von KIRSCHMANN[2] zuerst eingeführte der farbigen Gelatineplatten ein außerordentlich schätzbares Mittel, um statt durch Reflexion, wie bei den Farbenscheiben, durch Absorption bei durchfallendem Licht annähernd spektralreine Farben künstlich herzustellen. Die Gelatineplatten bieten hierbei den Vorteil, daß sie in den verschiedensten Farben im Handel sind, und daß sie wegen ihrer Dünne sehr leicht in mehrfacher Superposition verwendet werden können, so daß auf diese Weise durch Ausprobieren fast alle Farben nahezu vollkommen spektralrein erhalten werden können. Man kontrolliert zu diesem Zweck die Gelatinekombinationen, unter Benutzung der auch für die Versuche verwendeten Lichtquelle, so lange am Spektralapparat, bis sie annähernd nur noch Licht von einer Wellenlänge durchlassen. Die einzige Farbe, die dieser Methode Widerstand leistet, ist das Gelb, was man aber nach der früher (Bd. 1, S. 664 Anm. 2) erwähnten Methode mittels eines LIPPICHschen Strahlenfilters (einer zwischen zwei planparallelen Glasplatten eingeschlossenen Flüssigkeit) nahezu vollkommen spektralrein erhalten kann[3]. Von besonderem Wert ist endlich die Verbindung dieser Methode der Herstellung von Farben spektraler Sättigung mit der Methode der Mischung am Farbenkreisel. Man kann sich dazu wieder einer durch Federuhrwerk oder durch einen Elektromotor getriebenen Farbenscheibe bedienen, verwendet aber statt der farbigen Papiersektoren Gelatinesektoren in spektralreinen Kombinationen oder eventuell auch (besonders bei Gelb) ein rotierendes Strahlenfilter. Zwischen den Gelatinesektoren finden sich, wie beim Episkotister, schwarze Metall- oder Kartonstreifen zur Befestigung jener. Vor die von hinten beleuchtete rotierende Scheibe wird ein Schirm mit einem Schlitz gebracht, der nur einen beleuchteten Teil der Scheibe frei läßt und durch welchen der Beobachter blickt. Diese Methode hat den großen Vorzug, daß sie bequem Mischungen von Farben spektraler Sättigung unter Anwendung von beliebig vielen Farben gestattet, während bei der Benutzung des Spektrums Mischungen von mehr als zwei Farben sehr umständliche Versuchsanordnungen erfordern. Auch läßt sich diese Methode der Farbenmischung

---

1 LUMMER und BRODHUN, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 16, 1896, S. 299 ff.

2 KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 543.

3 LANDOLT, Das optische Drehungsvermögen organischer Substanzen. 1879. W. HELLPACH, Philos. Stud. Bd. 15, 1900, S. 530. Vgl. jedoch über Glas-Gelatinekombinationen mit annähernd gleicher Wirkung WIRTH, Phil. Stud. Bd. 18, S. 581.

unmittelbar mit der Episkotistermethode der Intensitätsabstufung kombinieren, indem man entweder die Farbenscheibe sowohl durch die Benutzung in ihrer Breite variierbarer schwarzer Sektoren zugleich als Episkotister verwendet oder vor ihr einen eigentlichen Episkotister aufstellt.

d. Adaptation der Netzhaut und lokale Unterschiede ihrer Erregbarkeit.

Nachdem wir in dem Vorangegangenen die wesentlichen Eigenschaften der Lichtempfindungen nach Farbenton, Farbengrad und Lichtstärke betrachtet haben, wird uns nunmehr noch eine Reihe von Abweichungen und Nebenerscheinungen beschäftigen müssen, die jene Eigenschaften unter bestimmten normalen wie abnormen Bedingungen darbieten. Fehlt es auch in andern Sinnesgebieten nicht an analogen Erscheinungen, so sind diese doch für den Gesichtssinn ganz besonders charakteristisch. Die nächste und auf das tiefste in die Verhältnisse des Empfindungssystems eingreifende ist die Adaptation der Netzhaut. Man versteht darunter, wie der Name es andeutet, die Tatsache, daß der Zustand der Sehfläche den Bedingungen der stattfindenden Reizung sich anpaßt. Dadurch aber, daß diese Anpassung stets einer gewissen, im allgemeinen relativ beträchtlichen Zeit bedarf, bis sie vollständig eingetreten ist, und daß von allen Faktoren der Lichtempfindung vorzugsweise die Lichtstärke für sie bestimmend ist, gewinnen die Erscheinungen ihren eigenartigen Charakter.

Dasjenige Phänomen, durch das sich die Adaptation der Netzhaut zunächst und am augenfälligsten verrät, ist die positive Blendung. Diese positive oder gewöhnliche Blendung besteht darin, daß beim Übertritt aus dem Dunkeln ins Helle, namentlich nach längerem Aufenthalt im Dunkeln, eine erhöhte Reizbarkeit der Netzhaut besteht, die eine deutliche Unterscheidung der Eindrücke hindert und oft mit Schmerzhaftigkeit, regelmäßig aber mit starken Reflexen auf die Schließmuskeln des Auges und der Pupille verbunden ist. Neben dieser allbekannten gibt es aber auch eine »negative Blendung«: so können wir nämlich die Erscheinung nennen, daß beim plötzlichen Eintreten aus dem Hellen ins Dunkle sowohl die Reiz- wie die Unterschiedsschwelle stark erhöht erscheint, dann aber bei längerem Aufenthalt im Dunkeln allmählich sinkt. Beide Tatsachen weisen darauf hin, daß die Netzhaut allmählich in einen Zustand übergeht, der der Beleuchtung der Umgebung angepaßt ist: im Dunkeln wird sie reizbarer, im Hellen vermindert sich ihre Reizbarkeit. Für die Veränderung im Dunkeln, die sogenannte »Dunkeladaptation«, besitzen wir übrigens auch ein objektives Kennzeichen in der Ansammlung des Sehpurpurs (Bd. 1, S. 487). Für die Helladaptation gibt es, abgesehen von dem Verschwinden dieses Farbstoffs, solche Kennzeichen außer den subjektiven des Sehens nicht. Nach diesen aber muß man

jedenfalls mannigfache Stufen der Adaptation annehmen, bei denen jedesmal durch uns noch unbekannte Vorgänge innerhalb der Sehzellen diese den der Lichtumgebung adäquaten Zustand der Erregbarkeit annehmen. Die Geschwindigkeit, mit der dies geschieht, ist dabei selbst hauptsächlich von der Lichtumgebung abhängig. Namentlich bedarf die Dunkeladaptation einer erheblich längeren Zeit als die Helladaptation. Die Unterschiede sind ferner bei jugendlichen Individuen viel ausgeprägter als bei älteren, bei denen sich die Dunkeladaptation mehr und mehr abschwächt, und die daher bei Tage noch sehr deutlich, in der Dämmerung aber manchmal fast nichts mehr sehen (die »Hemeralopie« der Augenärzte). Bei normalen Verhältnissen des Sehorgans kann man annehmen, daß nach einem Aufenthalt von 20 Minuten im Dunkeln eine vollständige Dunkeladaptation eingetreten ist, während die Helladaptation viel schneller erfolgt. Doch zeigen beide Vorgänge einen stetigen, anfangs raschen und später sehr langsamen Verlauf, so daß eine Adaptationszunahme sehr deutlich nicht nur diesseits der angegebenen Grenze von 20 Min., sondern auch noch über sie hinaus zu bemerken ist. Selbst ein verhältnismäßig rasch vorübergehender Beleuchtungswechsel kann daher die adaptiven Prozesse bis zu einem gewissen Grade auslösen. Auch können diese in lokal begrenzter Form auftreten, indem sich eine Netzhautstelle z. B. einer auf ihr sich abbildenden dunkeln Fläche adaptiert, indes die übrige Netzhaut im Zustande der Helladaptation verbleibt.

Außer in den Erscheinungen der positiven und negativen Blendung verrät sich nun die Adaptation auch noch in Veränderungen der Erregbarkeit. Besonders gilt das für den Zustand der Dunkeladaptation, indem ja der ihr gegenüberstehende der Helladaptation als der normale betrachtet wird, daher er auch der obigen allgemeinen Schilderung des Empfindungssystems zugrunde gelegt wurde. Jene Erregbarkeitsänderungen bei Dunkeladaptation bestehen aber teils in einer starken Erhöhung der Erregbarkeit für farblose Lichtreize, teils in einer auffallenden Verminderung der Farbenempfindlichkeit, die überdies die verschiedenen Farben in ungleichem Maße und je nach dem Grad der Dunkeladaptation in etwas abweichender Weise trifft. Offenbar ist es als ein Produkt des Zusammenwirkens dieser beiden für farbloses und für farbiges Licht entgegengesetzten Veränderungen der Erregbarkeit anzusehen, daß bei zureichender Dunkeladaptation und sehr geringer Lichtstärke alle Farben weiß erscheinen. Zugleich zeigt diese Tatsache, daß alle Farbenempfindungen, auch die der vollkommensten Sättigung, die Spektralfarben, eine farblose Empfindungskomponente enthalten, die eben in dem Augenblick für sich allein zur Geltung kommt, wo durch das Zusammenwirken von Dunkeladaptation und Intensitätsverminderung des Eindrucks die

Farbenkomponente wirkungslos geworden ist. Entwirft man ein prismatisches Spektrum im Dunkelzimmer, und schwächt man durch Verengerung des Spalts oder durch ein Episkotister die Lichtstärke hinreichend ab, so erscheint daher dem dunkeladaptierten Auge das ganze Spektrum als ein farbloses Band, das in seiner Mitte, in der Region des Grün, am hellsten ist und von da nach beiden Seiten an Lichtstärke abnimmt. Ein Beweis dafür, daß diese Erscheinung des farblosen Dunkelspektrums auf einer reinen Helligkeitskomponente beruht, die nach dem völligen Wegfallen der Farbenerregungen noch zurückbleibt, liegt darin, daß jenes farblose Band solchen Augen, die mit der später zu erwähnenden totalen Farbenblindheit behaftet sind, genau in der gleichen Weise erscheint, nur daß eben von ihnen das Spektrum auch bei gewöhnlicher Lichtstärke und ohne Dunkeladaptation farblos gesehen wird[1]. Noch klarer erhellt dies aus Beobachtungen in solchen Fällen, wo durch pathologische Affektion einzelner, eng umschriebener Stellen der Netzhaut diese ihrer Farbenempfindlichkeit beraubt werden, während ihre Helligkeitsempfindung unverändert erhalten bleibt. Ich hatte an meinem eigenen Auge Gelegenheit, solche infolge einer »Chorioiditis disseminata« eingetretene Zustände zu beobachten. Die total farbenblinden Flecken lagen mitten in der sonst farbentüchtig gebliebenen Region des deutlichen Sehens. Wurden nun zwei kleine farbige Papierstückchen dicht nebeneinander, das eine mit einer farbenblinden, das andere mit einer farbensehenden Stelle zur Deckung gebracht, so erschienen beide an Helligkeit vollkommen gleich: das erste erschien aber rein grau, das zweite zugleich farbig[2]. Für das normale Auge sind nun die Grenzen, wo die Farbenempfindungen zuerst in ihrem Farbengrad abnehmen und dann in einen ganz farblosen Eindruck übergehen, für die verschiedenen Farben wieder verschieden. Läßt man nämlich, nachdem das ganze Spektrum farblos geworden, allmählich die Lichtstärke desselben zunehmen, so treten zweierlei Veränderungen ein. Erstens verschiebt sich die Stelle der größten Helligkeit: sie geht von Grün auf Gelb über, während gleichzeitig Blau relativ dunkler und Rot heller wird; und zweitens treten die Farbenempfindungen sukzessiv in der Reihenfolge hervor, daß zuerst die kurzwelligen Farben (Blau und Violett) und dann die langwelligen (Gelb und Rot) erscheinen. Nimmt man die Änderungen der Lichtstärke in der umgekehrten Richtung vor, so kehren sich dann auch die Farben- und Helligkeitsänderungen um. Alle diese Abweichungen der Empfindung sind aber offenbar gleich-

[1] Hering, Pflügers Archiv, Bd. 49, 1891, S. 563.

[2] Über die diesen Erscheinungen zugrunde liegenden ophthalmoskopischen Veränderungen vgl. Philos. Stud. Bd. 14, S. 7 ff., über die begleitenden Veränderungen des räumlichen Sehens ebend. und unten Kap. XIV, 1.

zeitige Wirkungen der Lichtstärkenänderung und der Adaptation, da sich mit der ersteren immer auch die letztere verändern muß. Nur insofern wirkt diese für sich allein schon begünstigend auf die Phänomene, als die Dunkeladaptation des umgebenden Gesichtsfeldes die von der gleichen Adaptation herrührenden Veränderungen der direkt gereizten Stelle verstärkt.

Infolge dieser notwendigen Beziehungen von Adaptation und Lichtstärke kommen denn auch alle diese Erscheinungen schon unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens in einem gewissen Grade vor, da

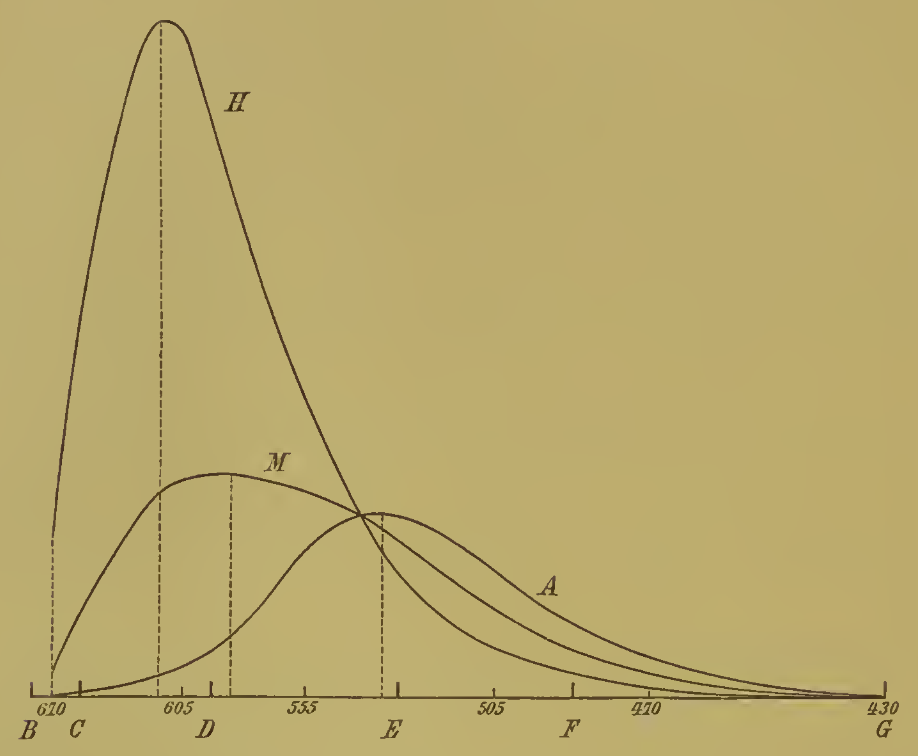


Fig. 199. Kurven der Helligkeitsverteilung im Spektrum bei großer (*H*), mittlerer (*M*) und schwacher Lichtstärke (*A*).

wir ja einem Wechsel der Lichtstärke fortwährend unterworfen sind. Als solche sich in der täglichen Erfahrung geltend machende Einflüsse sind sie zuerst von PURKINJE beachtet worden, daher man sie auch als das »PURKINJEsche Phänomen« zu bezeichnen pflegt. Wenn man z. B. Gemälde zu verschiedenen Tageszeiten betrachtet, so machen sie einen sehr wechselnden Eindruck: bei hellem Tage leuchten am meisten die roten und gelben Farbentöne, in der Dämmerung dagegen die grünen und blauen, wobei dann diese zugleich in ihrer Farbenqualität leicht verwechselt werden. Ein Maß für Eintritt und Verlauf dieses Phänomens läßt sich gewinnen, wenn man ein Spektrum entwirft und nun bei ver-

schiedener Beleuchtung den Ort der intensivsten Empfindung in demselben ermittelt, sowie die relativen Größen dieser verschiedenen Maximalpunkte der Helligkeit abschätzt. Man erhält so bei der Vergleichung dreier Lichtstärken, einer maximalen *H*, einer minimalen *A* und einer mittleren *M*, die in Fig. 199 dargestellten Kurven der Helligkeitsverteilung. Bei *H* und *M* liegt das Maximum beidemal im Gelb, aber dort näher dem Rot, hier dem Grün, bei *A* ist es vollständig nach dem Grün verschoben[1]. Nun ist das Grün diejenige Farbe, für welche die zur Auslösung einer Empfindung erforderliche objektive Energie des Lichtes unter allen Umständen, bei Hell- und Dunkeladaptation, am größten ist, während sie nach dem Rot hin sehr bedeutend, nach dem Blau weniger abnimmt. Dies erhellt aus den folgenden Werten der von H. EBERT bei zwei Beobachtern *S* und *E* vorgenommenen Messungen der in relativen Energiegrößen berechneten Reizschwellen, wobei der Maximalwert der Energie im Grün = 1 gesetzt wurde[2].

		Rot	Gelb	Grün	Grünblau	Blau
Wellenlänge		675	590	530	500	470
relative Reizschwelle	*S*	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{15}$	1	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{1}{3}$
	E	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{17}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

Hiernach läßt sich der Verlauf der Adaptationsphänomene auch folgendermaßen formulieren: mit wachsender Dunkeladaptation verschiebt sich der Punkt der maximalen Erregung im Spektrum allmählich im Sinne der größeren objektiven Lichtenergie. Nach der Reduktion aller Teile des Spektrums auf gleiche Helligkeit werden sich also bei Dunkeladaptation die zur Auslösung einer Helligkeitsempfindung erforderlichen Energiegrößen weit mehr der Gleichheit nähern als bei Helladaptation, wo die langwelligen Strahlen in unverhältnismäßigem Übergewichte sind.

Alle diese Erregbarkeitsänderungen durch Adaptation gelten nun aber schließlich nur unter der Bedingung, daß die Lichteindrücke eine zureichende räumliche Ausdehnung auf der Netzhaut besitzen. Sie erfahren dagegen bemerkenswerte Modifikationen, wenn der Lichtreiz unter eine bestimmte minimale Raumgrenze herabgeht. Annähernd punktförmige Eindrücke vermindern unter allen Umständen die Empfindung der Farbengrade. (Vgl. Bd. 1, S. 669.) Die gleiche Bedingung wirkt jedoch im allgemeinen noch augenfälliger, wenn die Lichteindrücke bei Dunkel-

[1] A. KÖNIG, Über den Helligkeitswert der Spektralfarben. Festschrift für HELMHOLTZ. 1891, S. 1 ff.

[2] EBERT, WIEDEMANNS Annalen, Bd. 33, 1888, S. 136.

adaptation einwirken. Denn hier beobachtet man, daß punktförmige Eindrücke nicht bloß bei jenen geringen Lichtstärken, bei denen auch das ganze Spektrum weiß erscheint, sondern bei beliebiger Lichtstärke farblos gesehen werden. Bestimmt man aber die räumlichen Grenzwerte, bei denen ein Farbeneindruck aus der farblosen in die farbige Empfindung übergeht, so folgen sich die Farben in der Reihenfolge, in der sich auch bei der gewöhnlichen Helladaptation ihre Farbenenergie geltend macht: die langwelligen werden also bei räumlich viel beschränkterer Reizwirkung empfunden als die kurzwelligen. Deutlich ergeben sich diese zuerst von CHARPENTIER[1] festgestellten Verhältnisse aus der folgenden Zusammenstellung einer von E. DÜRR ausgeführten Versuchsreihe. Die obere Linie enthält jedesmal, bei Hell- wie Dunkeladaptation, den Gesichtswinkel, bei dem die betreffende Spektralfarbe eben als Lichteindruck, die untere denjenigen, bei dem sie eben als Farbe empfunden wurde:

		Rot	Gelb	Grün	Blau	Indigoblau
Helladaptation	Licht	52″	26″	52″	52″	1′ 44″
	Farbe	52″	2′ 36″	1′ 44″	5′ 12″	10′ 27″
Dunkeladaptation, stärkere Lichtreize	Licht	52″	52″	52″	52″	1′ 44″
	Farbe	52″	2′ 10″	2′ 10″	5′ 13″	12′ 8″
Dunkeladaptation, sehr schwache Lichtreize (Spaltbreite 1/4 mm)	Licht	5′ 12″	2′ 10″	52″	2′ 36″	2′ 10″
	Farbe	5′ 12″	3′ 55″	3′ 29″	5′ 12″	15′ 36″

Aus diesen Zahlen ersieht man, daß sich bei Hell- und Dunkeladaptation die Empfindungen annähernd punktförmiger Eindrücke bei größeren Lichtstärken vollkommen übereinstimmend verhalten, und daß in beiden Fällen spektrales Rot die empfindlichste Farbenqualität hat, da bei ihr mit dem Lichteindruck auch sofort die Farbe merklich wird, während die übrigen Farben eine ansteigende Reihe bilden, indem die Gesichtswinkel, bei denen die farbige Empfindung eintritt, mit dem Übergang zu den brechbareren Strahlen immer mehr zunehmen. Abweichend verhält sich dagegen die der Farbe vorangehende reine Helligkeitsempfindung, da sie bei Hell- und Dunkeladaptation auch hier jene Verschiebung zeigt, die bei den oben geschilderten Helligkeitsänderungen des Spektrums beobachtet wird. Damit stimmen die Veränderungen überein, die bei vorhandener Dunkeladaptation dann eintreten, wenn die Lichtstärke der Reize herabgesetzt wird. Denn nun nehmen die Licht- und Farbenschwellen beim Rot beträchtlich zu, während sie für die mittleren Farben, Gelb und Grün, abnehmen und für die Endfarben sich wenig verändern, so daß also auch hier der Minimalwert der Schwelle gegen das Grün vorrückt. Hieraus erhellt, daß die bei der gewöhnlichen Lichtstärke der Spektralfarben zu

[1] CHARPENTIER, Comptes rend. t. 91, 1880, p. 49, 240.

beobachtende Farblosigkeit punktueller Eindrücke auf wesentlich andern Bedingungen beruht als die Entfärbung des Spektrums bei Dunkeladaptation und geringer Lichtstärke. Dort kommen die normalen Verhältnisse der Farbenerregbarkeit auch bei der Dunkeladaptation des ganzen Gesichtsfeldes zur Wirkung, offenbar weil eben durch die intensivere Farbeneinwirkung selbst die adaptive Veränderung für die gereizte Stelle beseitigt wird: daher die wesentliche Übereinstimmung der Erscheinungen bei Hell- wie Dunkeladaptation des übrigen Gesichtsfeldes. Indem sich nun aber auch hier gewisse Schwellenwerte, und zwar in diesem Fall räumliche Schwellenwerte ergeben, unterhalb deren wir noch Licht, keine Farbe mehr empfinden, lehren diese Versuche außerdem, daß auch im Zustand der normalen Helladaptation die Lichtempfindlichkeit der Sehelemente größer ist als ihre Farbenempfindlichkeit, oder, wie wir, nachdem oben die Notwendigkeit der Annahme einer relativ selbständigen Helligkeitskomponente erkannt wurde, das nämliche auch ausdrücken können: daß die Helligkeitskomponente der Lichterregung schon bei geringeren Lichtstärken ausgelöst wird als die Farbenkomponente. Nur das Rot macht in dieser Beziehung eine Ausnahme, indem bei ihm im allgemeinen Farben- und Lichtschwelle übereinstimmen. Damit hängen sichtlich zugleich andere Erscheinungen zusammen, die sich bei diesen Beobachtungen punktförmiger Eindrücke, namentlich wenn zugleich die Dunkeladaptation des übrigen Gesichtsfeldes hinzukommt, ergeben. Sie bestehen darin, daß die Empfindungen der kurzwelligen Strahlen bei punktförmigen Eindrücken überhaupt sehr viel unbeständiger sind als die der roten. Während die letzteren fast ebenso gut dauernd festgehalten werden können wie bei räumlich umfangreicheren Reizen, verschwinden die grünen oder blauen Punkte bald ganz, bald gehen sie in andere Farben oder in farblose Empfindungen über.

Die geschilderten Phänomene der Adaptation sowie der ihnen hinsichtlich der Verhältnisse der Helligkeits- und Farbenempfindung einigermaßen verwandten der räumlich kleinsten Lichteindrücke bezogen sich sämtlich in erster Linie auf diejenigen Empfindungen, die beim normalen Sehen die dominierende Rolle spielen: auf solche nämlich, die durch Erregung der zentralen Region der Netzhaut, der Macula lutea, erzeugt werden. Denn überall, wo wir die Objekte, deren Lichteigenschaften beobachtet werden, fixieren, wie das unter den gewöhnlichen Bedingungen des Sehens immer stattfindet, müssen die Empfindungen der Macula lutea allein oder vorzugsweise in Betracht kommen. Nun bemerkt man aber, daß im Dunkeln, namentlich bei der Beobachtung annähernd punktförmiger Objekte, die Fixation wesentlich unsicherer wird,

offenbar weil die sonstigen Orientierungspunkte im Raum fehlen; es bleibt daher immer möglich, daß bei stattfindender Dunkeladaptation die Empfindungen der peripheren Teile der Netzhaut eine größere Rolle spielen. Schon aus diesem Grunde erfordern also die Erscheinungen der Adaptation zugleich eine genauere Untersuchung der Sensibilitätsverhältnisse der verschiedenen Netzhautregionen; um so mehr, da, wie alsbald die nähere Verfolgung dieser Unterschiede zeigen wird, die Eigenschaften der peripheren Teile denjenigen Eigenschaften teilweise ähnlich sind, welche die ganze Netzhaut bei der Dunkeladaptation annimmt. Diese Analogien haben in der Tat die Vermutung erweckt, das Sehen im Zustande der letzteren sei im wesentlichen nichts anderes als ein Sehen mit den Seitenteilen oder mindestens mit dominierender Funktion der Seitenteile der Netzhaut. (Vgl. Bd. 1, S. 492.)

Da die Empfindlichkeit für spektrale Farbentöne wegen der im Hellen überall stattfindenden Vermischung mit Weiß nur mittels der Aussonderung der einzelnen Spektralfarben im Dunkeln geprüft werden kann, so ist es auch hier wieder am zweckmäßigsten, vom Zustand der Dunkeladaptation auszugehen. Beobachtet man in diesem, während die Gesichtslinie durch einen Fixierpunkt festgehalten wird, sukzessiv eine kleine Fläche von spektraler Sättigung und von zureichender Ausdehnung und Lichtstärke, so bemerkt man, daß mit dem Übergang des Objektbildes auf seitliche Netzhautstellen Helligkeits- und Farbenänderungen eintreten, die den durch die Dunkeladaptation selbst erzeugten ähnlich sind. Erstens nämlich nimmt die scheinbare Helligkeit der Objekte beim Übergang auf periphere Stellen merklich zu; und zweitens nehmen farbige Eindrücke in ihrem Farbengrad um so mehr ab, je exzentrischer das Bild wird, bis endlich in den seitlichsten Teilen sogar Farben von spektraler Sättigung und größter Lichtintensität vollkommen farblos erscheinen. Dabei sind zugleich diese Veränderungen von der Größe der farbigen Objekte in derselben Richtung abhängig, die sich schon im zentralen Sehen bei der Einwirkung annähernd punktförmiger Reize geltend macht: die Zone, von der an die Farbenempfindung verschwindet, rückt auch hier um so näher an das Netzhautzentrum heran, je kleiner die Objekte werden. Dabei verhalten sich aber wiederum die verschiedenen Farben durchaus nicht gleich. Auch finden sich nach den verschiedenen Richtungen einer und derselben Netzhaut wie nicht minder in den übereinstimmenden Richtungen der beiden zusammengehörigen Netzhäute Unterschiede, die überdies noch individuell variieren. Gleichwohl kehren bei normalen Augen gewisse Grundverhältnisse immer wieder, und namentlich zeigen die Grenzlinien, jenseits deren nach außen eine bestimmte Farbenempfindung nicht mehr existiert, immer einen stetigen Verlauf.

Bezeichnen wir diese um das Netzhautzentrum als Mittelpunkt gezogenen Grenzlinien als »Isochromen« (Linien gleicher Farbenempfindung), so sind dieselben analog regelmäßig geordnet wie beim Geschmacksorgan die »Isochymen« (S. 62), nur daß sie, wenigstens unter der Bedingung isolierter Reize von beschränkter Ausdehnung, viel schärfere Empfindungsgrenzen abgeben als die Isochymen, die bloß Zonen von graduell verschiedener Empfindlichkeit scheiden. Entwirft man das System dieser Isochromen für ein bestimmtes Auge, so gibt dasselbe über alle Verhältnisse der Farbenempfindung desselben, allerdings unter der Voraussetzung einer bestimmten extensiven Größe and Lichtstärke der Reize

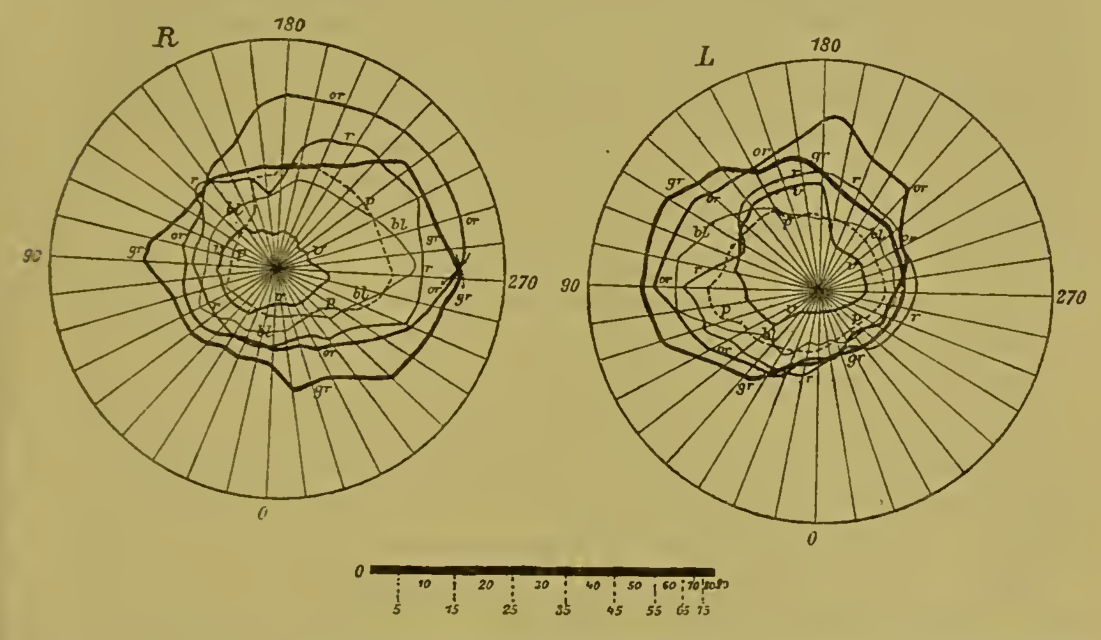


Fig. 200. Isochromen der beiden Netzhäute eines Sehorgans. *R* rechte, *L* linke Netzhaut.

und eines bestimmten Adaptationszustandes, Rechenschaft. Die innerste Isochrome bezeichnet die Grenze, bis zu der alle Farben empfunden werden, die äußerste diejenige, jenseits deren die Farbenempfindung ganz aufhört, und die zwischenliegenden umgrenzen stets Zonen, in denen, ähnlich wie jenseits jener innersten und dieser äußersten Linie, das Empfindungssystem eine annähernd konstante Beschaffenheit hat. Doch kommt dabei in Betracht, daß sich gelegentlich die Isochromen schneiden können, wodurch sich dann natürlich auch die Verhältnisse der Zonen verwickelter gestalten. Die Fig. 200 zeigt das nach diesem Prinzip auf Grund der Prüfung mit Farben von spektraler Reinheit und Sättigung entworfene Isochromensystem der beiden Augen eines normalen Sehorgans. Die einzelnen Isochromen sind zur leichteren Unterscheidung teils

in verschiedener Dicke, teils mit unterbrochenen oder punktierten Linien gezeichnet, die beigefügten Buchstaben deuten die Farben an: *v* violett, *bl* blau, *p* purpur usw. Der unten beigegebene Maßstab gibt die Projektionen der Raumgrößen der Zeichnungsebene auf die Netzhautfläche, wobei diese als Stück einer Hohlkugel gedacht ist. Nicht aufgenommen ist die Isochrome des Gelb. Das Gelb von spektraler Sättigung wird nämlich nur in der Zentralgrube empfunden, so daß diese Isochrome mit der Grenze der Macula lutea zusammenfällt, also etwa 5° vom Netzhautzentrum entfernt ist, während schon die nächste Isochrome, die des Violett, bei einem Abstand von etwa 20° gefunden wird. Nach diesem verschwinden dann sukzessiv Purpur, Blau, Rot, Grün, Orange, wobei sich jedoch diese Aufeinanderfolge, wie die Figur unmittelbar erkennen läßt, in den verschiedenen Teilen des Sehfeldes etwas abweichend verhält. Ebenso unterscheiden sich die obere und untere Hälfte der Netzhaut: auf jener, die der unteren Hälfte des Sehfeldes entspricht, sind konstant die Isochromen weiter ausgedehnt. Ebenso erstrecken sich diese nach der Nasalseite, auf der sich die äußeren Teile des Sehfeldes abbilden, weiter als nach der Temporalseite; und endlich zeigen rechtes und linkes Auge wieder Unterschiede, bei denen jedoch im wesentlichen das Lageverhältnis der Isochromen dasselbe bleibt[1].

Von den Bedingungen dieser Beobachtungen bei Dunkeladaptation unterscheiden sich die der Helladaptation darin, daß in diesem Fall nicht nur selbstverständlich alle Farbentöne mit Weiß gemischt sind, sondern daß man auch, wenn es sich um die Einwirkung möglichst gesättigter Farben handelt, auf die Benutzung des von farbigen Flächen reflektierten Lichtes, also von Pigmentfarben, angewiesen ist. Hierdurch leiden aber diese Versuche an dem Fehler, daß die untersuchten Farben nicht bloß Weiß, sondern stets auch kleine Mengen anderer Farben enthalten. Immerhin bleiben, wenn die Pigmente möglichst rein und gesättigt gewählt werden, die Farbenempfindungen hinreichend vergleichbar. Dies bestätigt sich auch insofern, als die nach dieser Methode bei Helladaptation ausgeführten Beobachtungen in den wesentlichsten Punkten mit den bei Dunkeladaptation mit Spektralfarben angestellten übereinstimmen. Auch hier bildet Violett den innersten Bezirk: dann folgen sich Grün, Rot und als äußerste Grenzlinie Orange. Nur Gelb und Blau weichen einigermaßen ab, indem beide mehr oder weniger weit über die ihnen im Dunkeln und bei spektraler Reinheit zukommenden Grenzen hinausreichen. Da gerade diese Farben selbst in ihren möglichst gesättigten Pigmenten ziemlich stark mit andern gemischt sind, so läßt

---

[1] W. Hellpach, Philos. Stud. Bd. 15, 1899, S. 524 ff.

sich aber hieraus kaum auf wesentliche Unterschiede zurückschließen. Dagegen darf man nach der übereinstimmenden Lage der übrigen Isochromen wohl annehmen, daß hier, analog wie bei den Farbenempfindungen punktförmiger Eindrücke, wesentlichere Unterschiede zwischen Hell- und Dunkeladaptation nicht existieren. Diese Folgerung wird dann weiterhin dadurch bestätigt, daß das PURKINJEsche Phänomen ebenso an der Macula lutea wie in den peripheren Teilen der Netzhaut sich einstellt, wie man bei der Einwirkung lokal beschränkter, bloß die Macula lutea treffender Lichtreize nachweisen kann[1].

Sind demnach die durch die Isochromen zur Darstellung gebrachten Unterschiede der Farbenempfindlichkeit der Netzhautregionen an sich von dem Adaptationszustand unabhängige, mit demselben für alle Teile der Netzhaut in gleichem Sinne sich ändernde Eigenschaften, so verhält sich nun dies wesentlich anders mit der außerdem die Netzhautperipherie auszeichnenden größeren Lichtempfindlichkeit. Hier scheint das Übergewicht der seitlichen Regionen über das Zentrum mit dem Fortschreiten des Zustandes der Dunkeladaptation immer entschiedener hervorzutreten; wogegen es bei vollkommener Helladaptation zweifelhaft bleibt, ob überhaupt ein Unterschied vorhanden ist. Demnach bestehen die charakteristischen Eigenschaften der Hell- gegenüber der Dunkeladaptation darin, daß jene die Farben-, diese die Helligkeitsempfindlichkeit für alle Teile der Netzhaut vergrößert, wobei die letztere Veränderung zugleich dahin gerichtet ist, daß sich bei der Helladaptation die Unterschiede der Helligkeitsempfindung der einzelnen Netzhautteile ausgleichen. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß hiermit noch eine dritte Eigenschaft zusammenhängt, auf die A. E. FICK und GÜRBER hingewiesen haben: das ist die geringere Ermüdbarkeit, die der Netzhaut im Zustand der Tagesadaptation und gegenüber dem weißen Lichte zukommt[2]. Die wesentliche Bedeutung aller dieser Adaptationen wird man demnach darin erblicken dürfen, daß sich bei ihnen die Empfindungsfunktionen nach den Bedürfnissen des Sehens reguliert haben. Diese führen aber beim Sehen im Tageslicht einerseits eine Ausgleichung der Helligkeitsunterschiede, die das Sehen im Dunkeln auszeichnen, anderseits eine feinere Unterscheidung der Farbenunterschiede der Objekte mit sich. Bei diesen Adaptationsvorgängen ist dann zugleich eine funktionelle Teilung in dem Sinne eingetreten, daß sich die Netzhautperipherie vorzugsweise an der bei Dunkeladaptation steigenden Lichtempfindlichkeit beteiligt, indes die feinere Farbenempfindlichkeit unter allen Umständen an die Netzhautmitte

[1] D. SHERMAN, Philos. Stud. Bd. 13, 1897, S. 434. KOSTER, Archiv f. Ophthalm. Bd. 41, 4, 1895, S. 10 ff.

[2] A. E. FICK und GÜRBER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 36, 2, 1890, S. 246.

gebunden bleibt. Doch weisen die näheren Bedingungen dieser Eigentümlichkeiten der verschiedenen Netzhautteile außerdem darauf hin, daß dieselben nicht sowohl an spezifische Eigenschaften der Sehelemente, als an graduelle Unterschiede ihrer Funktion und daneben zum Teil wohl auch an gewisse, besonders bei der Dunkeladaptation in Wirksamkeit tretende Hilfseinrichtungen, wie den vielleicht als Sensibilisator wirkenden Sehpurpur und die wahrscheinlich katoptrische Wirkung der Stäbchenaußenglieder, gebunden sind.

Die starken Veränderungen, denen die Erregbarkeitsverhältnisse der Netzhaut infolge der Adaptation an verschiedene Helligkeiten und besonders der Dunkeladaptation unterworfen sind, haben erst in neuerer Zeit die Aufmerksamkeit der Physiologie auf sich gelenkt. Manche ältere Untersuchungen, auch solche, bei denen das Sehorgan mehr als Beobachtungsmittel denn um seiner eigenen Empfindungen willen in Frage kam, werden daher infolge der Nichtbeachtung der Adaptationsverhältnisse entwertet. Es ist ein besonderes Verdienst H. Auberts und E. Herings, auf die große Wichtigkeit dieser Erscheinungen hingewiesen zu haben, die zuerst Aubert unter dem Begriff der »Adaptation« zusammenfaßte[1]. Nimmt man diesen Begriff im weitesten Sinne, so zerfällt er wieder in vier verschiedene Adaptationsvorgänge: in die Akkommodation für verschiedene Entfernungen, die hauptsächlich in der Linse ihren Sitz hat, in die des Konvergenzmechanismus der beiden Augen an den fixierten Punkt, in die Anpassung der als optische Blendung wirkenden Iris an die Intensität des in das Auge eindringenden Lichts, und endlich in die Adaptation der Netzhaut, von der hier allein die Rede ist, während uns die übrigen Anpassungserscheinungen erst bei den räumlichen Gesichtsvorstellungen wegen ihrer vorwiegenden Bedeutung für diese beschäftigen sollen (Kap. XV). Die Adaptation der Netzhaut läßt sich dann wieder in die Helligkeits- und in die Farbenadaptation unterscheiden, die beide wieder eng miteinander und mit der abweichenden Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhautregionen für Licht und Farbenerregungen zusammenhängen. Die zur Ermittelung dieser Abweichungen angestellten Beobachtungen über die Farbenempfindung im indirekten Sehen beschränkten sich zunächst auf einzelne Punkte oder Meridiane der Netzhaut[2]. Der erste, der planmäßig ein zusammenhängendes Netz der Isochromen durch Beobachtungen in acht Meridianen zu bestimmen suchte, war Kirschmann[3]. Er bediente sich der Tagesadaptation und möglichst gesättigter Pigmente. Aber schon Rühlmann und Hess, die mit den Farben des Spektrums arbeiteten, hatten einen Unterschied zwischen diesen und den Pigmentfarben wahrscheinlich gemacht. Demnach benutzte Hellpach bei seinen Versuchen mit Dunkeladaptation spektrale Farbentöne, die nach der oben (S. 176) angegebenen Methode künstlich mit Gelatinekombinationen und Lippichschen Strahlenfiltern

---

[1] H. Aubert, Physiologie der Netzhaut. 1865, S. 25 ff. E. Hering, Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn (im Handbuch der Augenheilkunde, Teil I), 1905, S. 17 ff.

[2] Rühlmann, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 20, 1, S. 15. Kluge, ebend. Bd. 21, 1, S. 251. A. Fick, Pflügers Archiv, Bd. 47, 1890, S. 244. Hess, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 35, 4, S. 1.

[3] A. Kirschmann, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 592.

hergestellt waren. Zur Untersuchung diente ein Perimeter (Fig. 201), das in erheblich größeren Dimensionen ausgeführt ist, als es die unter diesem Namen in der augenärztlichen Praxis zur Prüfung der Verhältnisse des seitlichen Sehens angewandte Instrumente zu sein pflegen[1]. Es besteht aus einem einen Viertelkreis von 1,10 m Radius darstellenden stählernen Bügel, an dem sich die Lampe *h* auf einer Kreisteilung verschieben läßt. Dieser zur Ein-

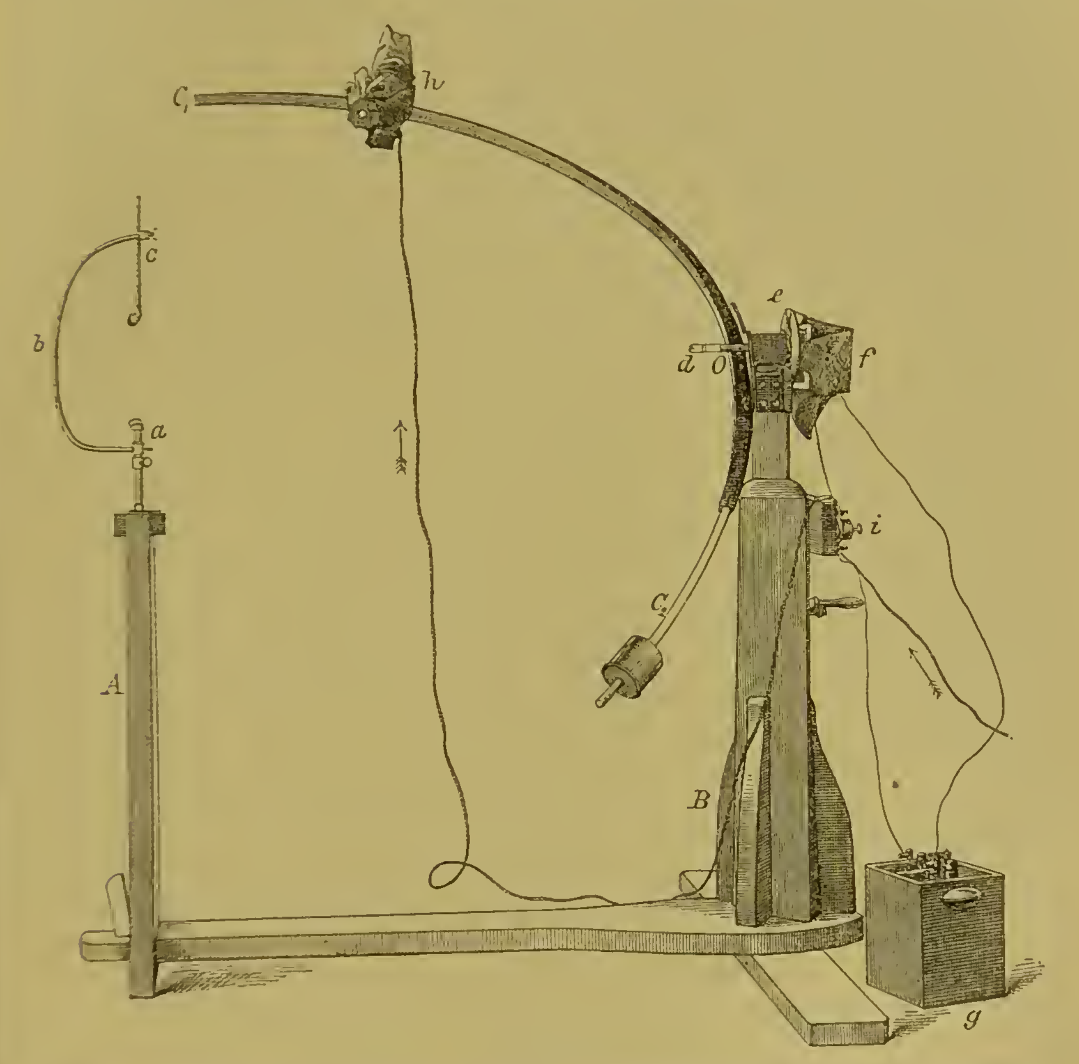


Fig. 201. Perimeter mit Hilfsapparaten für die Reizung mit spektralreinen Farben.

stellung der Lampe dienende Bügel C_1 wird durch den kürzeren Bügel C_2, in den er sich fortsetzt, mittels eines Laufgewichtes im Gleichgewicht gehalten, so daß er um den Kreismittelpunkt *O* gedreht und in jeder Stellung fest-

[1] Zuerst von AUBERT (Physiologie der Netzhaut, S. 116) beschrieben, ist das Perimeter unter diesem Namen von A. FÖRSTER in die Praxis eingeführt worden. Es besitzt in seiner gewöhnlichen Form einen Radius von 200 mm und ist in dieser wegen der ungenauen Winkelmessungen, die der kleine Apparat nur zuläßt, zu exakteren Versuchen weniger geeignet.

geschraubt werden kann. Durch denselben Punkt *O* geht eine kleine, vorn mit durchscheinendem Papier verschlossene Röhre *d*, die hinten in ein mit einer kleinen Glühlampe ausgerüstetes Kästchen *f* mündet. Von dem Akkumulator *g* aus wird diese kleine Glühlampe gespeist und läßt die kleine Fläche *d* als Fixierzeichen im Dunkeln aufleuchten. Die Lampe *h* dagegen enthält eine elektrische Glühlampe von 35 Kerzenstärke, die direkt von einem Hochspannungsstrom gespeist wird. Sie trägt vorn, dem Auge des Beobachters zugekehrt, die zuvor spektroskopisch geprüfte Farbenplatte. Die Meridianstellungen des Bügels C_1 werden an dem geteilten Kreis *e*, die Winkelablenkungen der Reizfläche *h* vom Zentrum *d* an der Teilung des Bügels abgelesen. Der ganze Perimeterapparat ist endlich auf einem starken Holzpfeiler *B* mittels einer höher oder tiefer zu stellenden Führung befestigt. Ihm gegenüber befindet sich, auf demselben Fußbrett angebracht, der Pfeiler *A*, auf dem sich die Fixierungsvorrichtung für das beobachtende Auge befindet. Sie besteht aus einer Kinnstütze *a*, einem Bügel *b* und einer Stirnplatte *c*, die sämtlich verstellt und durch Schrauben befestigt werden können[1]. Die Versuche HELLPACHS wurden in 10 Meridianen, in jedem in Abstufungen von je 10 Graden ausgeführt, so daß sich ein zureichendes Material für die Konstruktion der Isochromen gewinnen ließ. Wie die Fig. 200 zeigt, deren allgemeine Verhältnisse sich mit geringen individuellen Abweichungen an andern Augen wiederholen, geht, abgesehen vom Gelb, das durch seine Beschränkung auf die Macula lutea eine bemerkenswerte Ausnahmestellung einnimmt, im allgemeinen die Farbenempfindlichkeit für die brechbareren Strahlen (violett und blau) seitlich weniger weit, als für die minder brechbaren (grün, rot und orange). Doch bestätigt sich die auf Grund einer unvollständigeren Ermittelung der Isochromen aufgestellte Behauptung, daß die Grenzen für Komplementärfarben, namentlich für rot und grün sowie für gelb und blau, zusammenfallen, durchaus nicht. Vielmehr reicht Blau sehr viel weiter über das auf die Macula beschränkte Gelb hinaus als Violett, und ebenso weichen Grün und Rot ziemlich beträchtlich voneinander ab, während Orange durch seine große exzentrische Ausdehnung wiederum eine eigentümliche Ausnahmestellung einnimmt[2]. Weiterhin zeigt die Beobachtung, daß die Farbenempfindung als rein subjektives Phänomen und die Erregbarkeit durch eine bestimmte Farbe in ihrer eigenen Qualität keineswegs zusammenfallen, indem gerade auf den Seitenteilen der Netzhaut unter gewissen Bedingungen bestimmte objektive Farben in einer andern als in der ihnen normal zukommenden Qualität empfunden werden können. Insbesondere gehört hierher die Erscheinung, daß eine Farbe, ehe sie jenseits ihrer Isochrome in eine völlig farblose Empfindung übergeht, in einem abgeänderten Farbenton erscheint. Solche »Vorfarben« sind: für Rot und Gelb das Orange, für Grün das Gelb, für Violett das Blau. Gelb, das selbst peripher nicht als Farbe empfunden wird, kommt also in ziemlich exzentrischen Teilen der Retina als Vorfarbe vor. Allgemein treten aber als Vorfarben stets solche auf, die auch im Spektrum neben den erregten Farben liegen. Nur bei Purpur, Orange und Blau zeigen sich keine

---

[1] W. HELLPACH, Philos. Stud. Bd. 15, 1898, S. 525 ff.

[2] Übrigens ist zu bemerken, daß sich die in Fig. 200 dargestellten Isochromen auf Farben von spektraler Sättigung und Helligkeit beziehen. Wie sich der Verlauf derselben gestaltet, wenn alle Farben auf gleiche Helligkeit reduziert werden, steht dahin.

Vor- oder Nebenfarben, sondern dieselben gehen unmittelbar jenseits ihrer Isochrome in farblose Empfindungen über[1].

Viel später als die Unterschiede der Farben- haben die der Helligkeitsempfindungen im direkten oder indirekten Sehen genauere Beachtung gefunden, obwohl die gelegentliche Bemerkung der Astronomen, daß man, um sehr lichtschwache Sterne wahrzunehmen, sie nicht fixieren dürfe, deutlich auf diese Unterschiede hinweist. Wenn trotzdem noch AUBERT erklärte, daß er solche Unterschiede nicht finden könne[2], so liegt der Grund dieses Widerspruchs wohl darin, daß sich die astronomischen Beobachtungen auf Dunkeladaptation bezogen, während die Physiologen die Unterschiede zwischen direktem und indirektem Sehen zunächst nur bei Helladaptation untersuchten, wo solche zwar für die Farben-, nicht aber für die Helligkeitsempfindung existieren. In Wahrheit sind aber die Unterschiede der letzteren bei der Dunkeladaptation sehr groß, und sie sind zugleich schon nahe dem Netzhautzentrum nachzuweisen, während sie weiter nach der Peripherie hin wieder verschwinden. So fand GUILLERY, daß die Helligkeit 30—35° seitlich vom Netzhautzentrum ihr Maximum erreicht hatte, wobei in diesem Fall, im Gegensatz zu der Farbenempfindung (Fig. 200), die äußeren vor den inneren (nasal gelegenen) Netzhautregionen bevorzugt waren[3]. Am einfachsten lassen sich diese Unterschiede mittels der Methode der kleinsten empfindbaren Flächen nachweisen, wo die Abnahme dieser bei gleicher Lichtstärke die Zunahme der Empfindlichkeit anzeigt. Doch lassen sich jene auch direkt bei konstant bleibender Größe der leuchtenden Objekte mittels der photometrischen Bestimmung der Reizschwelle ermitteln. Auf letzterem Wege fand PERTZ[4], daß der kleinste periphere Schwellenwert im dunkel adaptierten Auge nur $^1/_{32}$ der zentralen Schwelle betrug. Bewegen sich so beim Übergang vom Zentrum nach der Peripherie der Sehfläche die Veränderungen der Farben- und der Lichtempfindlichkeit bis zu erreichtem Maximalpunkt der letzteren in entgegengesetztem Sinne, so rechtfertigt es aber doch die Beobachtung keineswegs, diese entgegengesetzt gerichteten Veränderungen in dem Sinne zugleich zu qualitativen Gegensätzen zwischen Zentrum und Peripherie zu steigern, daß, analog wie in den äußersten Regionen nur noch Helligkeitsempfindung, so umgekehrt im Zentrum nur noch Farbenempfindlichkeit existiere. Ein scheinbarer Gegensatz solcher Art besteht in der Tat nur so lange, als die einwirkenden Reize eine etwas größere räumliche Ausdehnung besitzen, wo nun allerdings bei Abschwächung der Lichtstärke im Zentrum mit der Farbe auch der Lichteindruck verschwindet, während peripher dieser namentlich für die brechbareren Farben noch bestehen bleibt[5]. Verkleinert man aber die Reizflächen, so wird, wie CHARPENTIER mit Recht bemerkt hat, auch im zentralen Sehen ein Minimalwert erreicht, bei dem jede Farbe farblos erscheint[6]. Nur das Rot pflegt dann noch einen röt-

[1] HELLPACH, a. a. O. S. 554. Einige dieser Farbenwandlungen wurden auch schon von KLUG, RÜHLMANN und A. FICK wahrgenommen.

[2] AUBERT, Grundzüge der physiologischen Optik. 1876, S. 195.

[3] GUILLERY, PFLÜGERS Archiv für Physiologie, Bd. 66, 1897, S. 401. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 13, 1897, S. 187.

[4] A. PERTZ, Photometrische Untersuchungen über die Schwellenwerte der Lichtreize. Diss. Freiburg. 1896.

[5] PARINAUD, Annales d'oculistique, t. 92, 1894, p. 228.

[6] CHARPENTIER, Archives d'ophtalmol. t. 16, 1896, p. 332.

lichen Schimmer zu bewahren, dabei aber freilich ebenfalls in seiner Sättigung bedeutend vermindert zu sein.

Indem der Zustand der Dunkeladaptation die Farben- wie die Lichtempfindlichkeit in allen Teilen der Netzhaut offenbar in gleichem Sinne, wenn auch in verschiedenem Grade verändert, und zwar derart, daß er die Farbenempfindung vermindert, die Helligkeitsempfindung vergrößert, steht er nun zugleich mit einigen weiteren Erscheinungen in Beziehung, die mit der Erhellung oder Verdunkelung des Sehfeldes und insofern möglicherweise mit partiellen oder totalen Adaptationsvorgängen verbunden sein können. Hierher gehört zunächst die Tatsache, daß sich das Newtonsche Gesetz der Farbenmischung, wie es nach der Schwerpunktskonstruktion durch die Fig. 190 (S. 155) dargestellt wird, verändert, d. h. daß die Farbenkurve eine andere Form annimmt, wenn die Lichtstärken der Mischfarben variiert werden. Da nun die Abnahme der Lichtstärke immer zugleich einen gewissen Grad von Dunkel-, die Zunahme einen solchen von Helladaptation bedeutet, so läßt jener Wechsel des Farbenmischungsgesetzes eine doppelte Deutung zu: man kann ihn entweder als eine direkte Wirkung der Intensitätsänderungen des Lichtes, oder man kann ihn als eine Folge der veränderten Adaptation betrachten. Im ersten Fall statuiert man mit A. König und J. von Kries eine Variabilität des Mischungsgesetzes mit der Lichtstärke; im letzteren Fall nimmt man mit Hering und A. Tschermak eine Konstanz des Mischungsgesetzes für jeden einzelnen Adaptationszustand an[1]. Da Lichtstärke und Adaptation wie Ursache und Wirkung zusammengehören, so ist dieser Streit an sich eigentlich gegenstandslos und im rein empirischen Sinne überhaupt nicht zu entscheiden. Denn die Änderungen, die einer gegebenen Variation der Lichtstärke folgen, können immer auch auf die begleitende Adaptation bezogen werden, und Änderungen der Lichtstärke, bei denen keine merklichen Abweichungen der Adaptation stattfinden, müssen sich in so engen Grenzen bewegen, daß unter dieser Bedingung die von der Lichtstärke herrührenden Abweichungen des Mischungsgesetzes leicht verschwindend klein werden können. Die Frage läßt sich daher überhaupt nur im Zusammenhang mit der Gesamtheit der Erscheinungen, welche die Farbenempfindungen und die Farbenmischungen darbieten, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit beantworten. Nun fällt bei den letzteren vor allem dies in die Augen, daß die Mischungswirkung der Farben zu ihrem Helligkeitswert in gewissem Grad in einem reziproken Verhältnisse steht: Gelb und Rot, die in der Tagesbeleuchtung hellsten Farben, haben bei dieser die kleinste, Blau und Violett, die dunkelsten, haben umgekehrt die größte Mischungswirkung. Aus der Gesamtheit dieser Verhältnisse folgt, daß aller Wahrscheinlichkeit nach die relative Lichtstärke der verschiedenen Farben als der primäre Faktor der Änderungen des Mischungsgesetzes angesehen werden muß. Allerdings machen sich dann diese Änderungen bei der Dunkeladaptation besonders augenfällig geltend, weil bei ihr die relativen Veränderungen der Helligkeiten der Farben und damit auch die ihnen reziproken der Mischungswirkungen besonders stark hervortreten. Es ist daher unverkennbar, daß bei

---

[1] A. König, Ber. der Berliner Akademie, 1896, S. 945. J. von Kries, Ber. der naturforsch. Gesellsch. in Freiburg, Bd. 9, 1894, S. 61. A. Tschermak, Pflügers Archiv, Bd. 70, 1898, S. 297. Bd. 82, 1900, S. 559.

jener Zurückführung der Veränderungen auf die Adaptation als primäre Ursache die Auffassung der letzteren als eines sozusagen absoluten, durchgängig durch den Gegensatz zu den Verhältnissen der positiven Lichterregung stehenden Zustandes eine gewisse Rolle gespielt hat. Eine solche absolute Bedeutung hat aber die Adaptation nicht, sondern die Dunkeladaptation ist ein Zustand, der durch alle möglichen Zwischenstufen in die Helladaptation übergeht. Auch noch in einer andern Beziehung hat wohl die Verwandlung dieses relativen Gegensatzes von Hell und Dunkel in einen absoluten die Auffassung der Erscheinungen beeinflußt. Dies geschah merkwürdigerweise wiederum in zwei verschiedenen, zueinander gegensätzlichen Anschauungsweisen. Auf der einen Seite wurde der Gegensatz von Dunkel und Hell mit J. VON KRIES auf disparate Funktionen der verschiedenen Netzhautelemente, der Stäbchen und Zapfen, zurückgeführt, wo dann, da doch die Netzhautmitte ebenfalls Helligkeiten empfindet, konsequenterweise angenommen werden mußte, daß es zwei verschiedene Weißempfindungen gebe, eine, die von den bloß farblos empfindenden Stäbchen, und eine andere, die von den der Farbenmischung unterliegenden Zapfen herrühre[1]. Auf der andern Seite wurde der nämliche Gegensatz, unter der Voraussetzung einer wesentlichen Gleichartigkeit der verschiedenen Netzhautelemente, mit HERING als qualitativ entgegengesetzte Funktionsweise derselben bei Hell und Dunkel gedeutet. Nun sollte wiederum die Helligkeitsempfindung im Dunkeln eine andere sein, aber nicht deshalb, weil sie in andern Elementen, sondern weil sie mindestens teilweise in andern Sehstoffen der gleichen Elemente zustande komme. Demnach nahm man an, die Helligkeit, die zurückbleibe, wenn im Dunkeln bei verminderter Lichtstärke des Eindrucks die Farbe verschwinde, sei etwas ganz anderes als diejenige, die im Hellen die Helligkeit einer Farbe bestimme; und FRANZ HILLEBRAND suchte auf Grund dieser Betrachtungsweise die »spezifische«, d. h. die von der beigemischten reinen Helligkeitsempfindung des Weiß unabhängige Helligkeit der verschiedenen Spektralfarben zu ermitteln[2]. Nun beobachtete allerdings HERING, daß sich die Helligkeit eines Grau, das aus Schwarz und Weiß in einem bestimmten Verhältnisse gemischt ist, in verschiedenem Grade zu ändern schien, wenn er, ohne im übrigen die objektive Helligkeit zu ändern, verschiedene Farben dem Gemisch zusetzte, indem z. B. die Zumischung von Gelb eine Erhellung, die von Blau eine Verdunkelung hervorbrachte. Dabei ist aber zu beachten, daß die Vergleichung verschiedener Farben auf ihre Helligkeiten sehr unsicher ist; und es mag daher der Umstand, daß wir überhaupt Blau als dunkle und Gelb als helle Farbe zu sehen gewohnt sind, bei dieser Vergleichung eine gewisse Rolle spielen. Wenigstens spricht hierfür, wie GÖTZ MARTIUS bemerkt hat, schon der Umstand, daß die oben erwähnten indirekten Messungen VIERORDTS über die Helligkeit der Spektralfarben mittels der Zufügung gleich wirksamer Quantitäten weißen Lichtes mit den direkten Vergleichungen FRAUNHOFERS genau übereinstimmen. Zu demselben Ergebnisse führten Versuche von KIRSCHMANN, in denen er die Helligkeitswerte von Pigmentfarben dadurch bestimmte, daß er dasjenige aus Schwarz und Weiß

[1] J. VON KRIES, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 9, 1895, S. 81 ff. Vgl. dazu die etwas limitierten Ausführungen in NAGELS Handbuch der Physiol. Bd. 3, S. 181 f. und NAGEL, Zeitschr. für Psych. Bd. 23, S. 162.

[2] HERING, PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 569. HILLEBRAND, Wiener Akademieberichte, Naturw.-math. Kl. Bd. 98, 1889, S. 29.

gemischte Grau aufsuchte, welches, der Farbe beigemischt, keine Helligkeitsänderung derselben herbeiführte. Das nämliche Grau erschien dann stets auch ohne die farbige Beimengung genau in derselben Helligkeit wie die Farbe. Ebenso fanden Götz Martius und Kretzmann in Versuchen, bei denen sie komplementäre Gemische teils direkt, teils in den von ihnen erzeugten Nachbildern verglichen, daß die Helligkeit eines solchen Gemisches stets gleich der Helligkeit seiner farbigen Komponenten nach Maßgabe ihrer Beteiligung an der Mischung ist. Dieses Ergebnis würde, wenn jede Farbe ihre spezifische Helligkeit besäße, unmöglich sein, da in diesem Fall die Helligkeiten der Einzelfarben von denen ihrer komplementären Gemische immer im Sinne ihrer spezifischen Helligkeit abweichen müßten[1]. Hiernach kann es als zweifellos gelten, daß es eine »spezifische« Helligkeit der Farben, d. h. eine solche, die eine jede zu der ihrer farblosen Komponente eigenen Helligkeit hinzubringt, nicht gibt. Wenn wir niemals Farbe empfinden können, ohne gleichzeitig Helligkeit zu empfinden, so beruht dies eben darauf, daß zwar eine Helligkeitsempfindung ohne Farbe, niemals aber eine Farben- ohne eine Helligkeitsempfindung vorkommt. Auch die gesättigtste Spektralfarbe enthält immer noch diese farblose Komponente, wie gerade der Umstand deutlich zeigt, daß das Spektrum bei geringster Lichtintensität in ein farbloses Band übergeht. Ebenso ist die oben (S. 179) hervorgehobene Beobachtung, daß total farbenblind gewordene Stellen auf eine Farbe genau mit dem gleichen Grad einer Helligkeitsempfindung reagieren wie farbentüchtige, mit jener Annahme unvereinbar. Zugleich ist aber aus jenem schließlichen Übergang der farbigen in farblose Lichtempfindungen bei abnehmender Lichtstärke zu schließen, daß bei jeder Erregung die Helligkeitsempfindung schon bei geringeren Reizstärken beginnt als die Farbenerregung. Die Art, wie diese farblose Komponente mit der Steigerung der Lichtintensität zunimmt, ist dann wieder für die verschiedenen Farben eine etwas abweichende, wie die Verschiebung des Helligkeitsmaximums im Spektrum und die ihr entsprechenden Tatsachen des Purkinjeschen Phänomens zeigen. Außerdem ist sie offenbar von der Beschaffenheit der Netzhautelemente abhängig, die dann wieder ihrerseits die großen Unterschiede des zentralen und des seitlichen Sehens bedingen. Daß diese Unterschiede mit den morphologischen der Zapfen und Stäbchen und mit dem den letzteren allein zukommenden Sehpurpur zusammenhängen, ist aber in hohem Grade wahrscheinlich. Hierin besteht die relative Wahrheit der von von Kries aufgestellten »Duplizitätstheorie«. Nur handelt es sich eben hier nicht um Gegensätze, sondern um stetig veränderliche Unterschiede. Nach den zu beobachtenden Tatsachen besitzen in der menschlichen Netzhaut die Zapfen sowohl Farben- wie Helligkeitsempfindung; in den Stäbchen dagegen nimmt mit der Distanz vom Zentrum die Farbenempfindlichkeit ab und die Helligkeitsempfindung etwas zu; ganz in der Peripherie schwindet endlich die erstere ganz, indes die letztere noch fortbesteht. (Vgl. auch über die hier eingreifenden Verhältnisse der Sehschärfe im direkten und indirekten Sehen bei Hell- und Dunkeladaptation unten Kap. XIV, 1.)

---

[1] Kirschmann, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 462 ff. Götz Martius, Beiträge zur Psychologie und Philosophie, Heft 1, 1896, S. 132 ff. F. Kretzmann, ebend. S. 120 ff.

e. Entstehung und Nachwirkungen der Lichtempfindung.

Zu den bemerkenswertesten Eigentümlichkeiten der chemischen Sinne gehört die, daß die Sinneserregung einen auffallend lang dauernden Verlauf nimmt, indem sie allmählich ansteigt, besonders aber lange dauernde Nachwirkungen in der Empfindung zurückläßt (Bd. 1, S. 425). Sehen wir uns jedoch bei den eigentlichen chemischen Sinnen wegen der unsicheren zeitlichen Begrenzung der Reize fast ganz darauf beschränkt, die beträchtliche Dauer der Erregungsvorgänge im allgemeinen festzustellen, so gliedern sich bei dem photochemischen Sinn diese Vorgänge in eine Reihe wohl unterscheidbarer einzelner Erscheinungen. Dabei zeigen diese Erscheinungen charakteristische Unterschiede, je nachdem die Lichtreize nur während einer sehr kurzen oder während einer längeren Zeit einwirken, Unterschiede, die in mancher Beziehung an die bei der motorischen Nervenerregung sich darbietenden errinnern: an die nach einem momentanen Reiz rasch vorübergehende Muskelzuckung, und an die der Summierung der Erregungen durch dauernde Reize folgende tetanische Zusammenziehung. (Vgl. Bd. 1, S. 105 ff.)

Läßt man im Dunkeln auf das im Zustand der Dunkeladaptation befindliche Auge einen momentanen Lichtreiz einwirken, wie er z. B. durch das Überspringen eines elektrischen Funkens zwischen zwei einander sehr nahen Platinspitzen hervorgebracht wird, so erscheint die Lichtempfindung als eine annähernd momentane. Es folgt ihr aber nach einer sehr kurzen Zeit ein zweiter und manchmal noch nach einer zweiten, gleichen Zwischenzeit ein dritter Lichtblitz, der, obgleich er nur der subjektiven Netzhauterregung angehört, einer objektiven Wiederholung des elektrischen Funkens täuschend ähnlich sieht. Diese Erscheinungen machen es bereits wahrscheinlich, daß die durch einen momentanen Lichtreiz ausgelöste Erregung ein oszillatorischer Prozeß ist, der sich, wenn wir uns hierbei der früher für den Wechsel solcher Erregungsphasen angewandten Ausdrücke bedienen, aus einer Anzahl kurz dauernder Erregungen und darauf folgender Hemmungen zusammensetzt. Beobachtet man nun aber aufmerksam die Phasen, die zwischen den oszillatorischen Erregungen liegen, so bemerkt man, daß auch sie nicht ganz empfindungsleer sind, sondern daß zwischen dem ersten und zweiten Lichtblitz an der Stelle der Lichterregung eine größere Verdunkelung und in ihrer Umgebung eine schwache diffuse Erhellung des Gesichtsfeldes wahrzunehmen ist[1]. Die Erscheinung dieser entgegengesetzten Phasen

[1] Fechner, Psychophysik, Bd. 2, S. 310. Bosscha, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 40, 1, 1893, S. 22. C. Hess, Pflügers Archiv, Bd. 49, 1891, S. 190 ff. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 40, 2, 1894, S. 259.

wird auffallender, wenn der Lichtreiz selbst rasch von einer Netzhautstelle zu einer andern bewegt wird, womit dann immer zugleich eine schwache dauernde Beleuchtung des Gesichtsfeldes verbunden ist: so z. B. wenn man ein Stück leuchtender Kohle bewegt oder das annähernd punktförmige Reflexbild eines kleinen Spiegels sehr schnell über die Netzhaut führt. Man sieht dann dem Lichteindruck zuerst einen stark verdunkelten Schweif folgen, dem sich aber auch hier ein Wiederaufleuchten des Bildes anschließen kann[1]. Ist der kurz dauernde Lichteindruck sehr intensiv, so gestalten sich endlich, falls er aus gemischtem Lichte besteht, die Nachwirkungen dadurch noch verwickelter, daß der oszillatorische Prozeß offenbar für die verschiedenen Farben ein abweichendes Phasenverhältnis besitzt. Es entsteht so das »farbige Abklingen« der Lichtreize. Dabei geht insgemein die Empfindung Weiß des primären Eindrucks zuerst in Blau, dann in Grün und endlich in Rot oder Rotgelb über[2]. Daraus schließt man, daß die verschiedenen Farbenerregungen, die sich beim primären Eindruck des Weiß kompensieren, in verschiedener Weise abklingen, indem die photochemische Wirkung der roten Strahlen rascher sinkt, aber länger dauert als die der blauen[3]. Doch ist möglicherweise auch die Dunkeladaptation von Einfluß, welche die Wirkung des Blau relativ begünstigt, dagegen, wie die Versuche mit annähernd punktförmigen Reizen lehren (S. 182), das Blau, nicht das Rot, sehr rasch in Weiß übergehen läßt. Hiernach ordnen sich alle diese Beobachtungen zunächst jenem oszillatorischen Verlauf, namentlich der ansteigenden Erregung, ein, wie er uns bereits bei den Druckempfindungen des Tastsinns (S. 12) und bei den Tonempfindungen begegnet ist (S. 75). Aber der Lichterregung kommen dabei noch zwei besondere Eigenschaften zu, die in den andern Sinnesgebieten fehlen. Die eine besteht in dem starken Herabsinken der Erregung bei annähernd momentanen Reizen, wodurch die einzelnen Maxima der Oszillationen den Wiederholungen einer und derselben momentanen Empfindung gleichen können. Die andere besteht in den Abweichungen des Verlaufs, welche die verschiedenen Qualitäten der Lichtempfindung darbieten.

Verwandt den oben geschilderten Erscheinungen im Dunkeln sind nun diejenigen, die im Hellen bei abwechselnden Lichtreizen von kurzer Dauer eintreten. Sie lassen sich am einfachsten mit den rotierenden

---

[1] CHARPENTIER, Archives de physiol. norm. et path. (5) t. 4, 1892, p. 541, 628. BIDWELL, Proc. of the roy. soc. vol. 56, 1894, p. 132. VON KRIES, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 25, 1900, S. 239. HESS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 51, 1900, S. 225. PFLÜGERS Archiv, Bd. 101, 1904, S. 242. GÖTZ MARTIUS, Beitr. zur Psychol. und Philos. Bd. 1, 1902, S. 326. MC DOUGALL, British Journ. of Psychol. vol. 1, 1904, p. 78.

[2] FECHNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 50, 1840, S. 220 ff.

[3] HELMHOLTZ, Physiol. Optik[2], S. 521 ff.

Scheiben hervorbringen. Man setze eine solche Scheibe aus abwechselnden schwarzen und weißen Sektoren zusammen, und wähle die Breite dieser, wie in Fig. 202, verschieden groß, aber so, daß überall die Mengen Weiß und Schwarz die gleichen bleiben (z. B. je = 180°), während die Intervalle, in denen die Eindrücke einander folgen, kürzer oder länger sind. Dann bemerkt man bei hinreichend rascher Rotation der Scheiben jene völlig gleichförmige Mischung zu Grau, wie sie allen bisher geschilderten Anwendungen dieser Scheiben zu Mischungsversuchen zugrunde liegt. Läßt man aber die Scheibe zuerst nur ganz langsam rotieren, um hierauf allmählich ihre Geschwindigkeit zu steigern, so gehen der gleichmäßigen Mischung folgende Erscheinungen voran, die sich sukzessiv ablösen. Zuerst, bei geringer Geschwindigkeit, erkennt man noch deutlich in Fig. 202 alle einzelnen Sektoren, nur ihre Ränder erscheinen etwas verwaschen. Dann breitet sich über die weißen ein grauer und über die schwarzen ein weißer Schimmer aus, der an den Grenzlinien beginnt und mit der Entfernung von ihnen abnimmt. Endlich, bei noch weiter gesteigerter Schnelligkeit, fließen die Eindrücke zunächst im äußeren Teil der Scheibe, wo je vier weiße und schwarze Sektoren abwechseln, zusammen, hierauf auch die im mittleren, und zuletzt die im inneren, so daß nun erst die ganze Scheibe gleichförmig grau gesehen und von der verschiedenen Verteilung des Weiß und Schwarz in den drei aufeinander folgenden Ringen nichts mehr bemerkt wird. Sobald die vollkommene Mischung der beiden Helligkeiten oder Farben eingetreten ist, werden also die resultierenden Empfindungen nur noch durch die Gesamtsummen der miteinander abwechselnden Eindrücke bestimmt, sind aber von der Geschwindigkeit, mit der sie aufeinander folgen, innerhalb ziemlich weiter Grenzen unabhängig. Ist die Intensität des einwirkenden weißen Lichtes $= i$, und ist der gesamte Raumwert der weißen Sektoren $= a$, der schwarzen $= b$, so wird daher jetzt die über die ganze Scheibe ausgebreitete Helligkeit durch den Quotienten $\frac{ia}{a+b}$ gemessen. Dieses zuerst von TALBOT formulierte und nach ihm unter dem Namen des »TALBOTschen Gesetzes« bekannte Mischungsprinzip bleibt jedoch nur bei Geschwindigkeiten gültig, welche die zum Eintritt der



Fig. 202. Scheibe mit verschiedener Verteilung gleicher Mengen von Weiß und Schwarz.

vollständigen Mischung erforderliche Dauer von etwa 0,04 Sek. für die Periode $a + b$ nicht allzu sehr überschreiten. Bei größeren Geschwindigkeiten werden, wahrscheinlich infolge der nun eintretenden Superposition der Maximalpunkte der Erregung, Abweichungen in der Richtung einer gesteigerten Reizung beobachtet, deren nähere Bedingungen noch der weiteren Untersuchung bedürfen[1]. Ebenso gilt die angegebene Grenzgeschwindigkeit von 0,04 Sek. nur für die mittlere Lichtstärke diffuser Tagesbeleuchtung; sie sinkt aber mit der Abnahme, und sie steigt mit der Zunahme der Helligkeit, so daß bei der Beleuchtung einer rotierenden Scheibe wie Fig. 202 mit direktem Sonnenlicht die Sektoren bei Geschwindigkeiten, bei denen sie sich sonst zu einem gleichförmigen Grau vermischen, noch stark flimmernd erscheinen. Daraus folgt, daß eine sehr intensive Erregung verhältnismäßig schneller wieder sinkt als eine minder intensive. Zugleich zeigt sich jedoch bei jener stärksten Beleuchtung farbloser, aus schwarzen und weißen Sektoren bestehender Scheiben noch eine andere Erscheinung, die an das oben beschriebene farbige Abklingen kurz dauernder Erregungen im dunkeln Gesichtsfeld erinnert. Bei einer mäßigen Geschwindigkeit der Rotation tritt nämlich ein farbiges Flimmern auf: jedem schwarzen Sektor geht eine rötliche Färbung voran, und folgt eine bläuliche nach, worauf sich bei etwas größerer Geschwindigkeit die rötliche Färbung über die weißen, die blaue über die schwarzen Sektoren mehr und mehr ausdehnt, so daß in einem gewissen Stadium überhaupt nur noch Farben gesehen werden[2]. Diese Erscheinungen pflegt man ebenfalls auf das verschiedene Abklingen der das weiße Licht zusammensetzenden Farben zurückzuführen[3]. Doch dürften auch hier die Adaptationsverhältnisse eine Rolle spielen, wie der Umstand vermuten läßt, daß von einer gewissen Geschwindigkeit an bei sonst sehr abweichender Sektorenbreite blau und grün stets auf die schwarzen, rot und gelb auf die weißen Sektoren fallen, in den momentan verdunkelten Teilen des Gesichtsfeldes also die bei der Dunkeladaptation, in den erhellten die bei der Helladaptation wirksamen Farben gesehen werden.

Alle die bisher geschilderten Erscheinungen kurz dauernder Lichtreizung lassen sich zu dem allgemeinen Satze zusammenfassen, daß jeder Lichtreiz eine Nachwirkung hinterläßt, die zunächst als ein der ursprüng-

---

[1] Vgl. hierzu besonders die Arbeiten von BRÜCKE (Wiener Sitzungsber. [3] Bd. 49, 21. Jan. 1864), MARBE (Philos. Stud. Bd. 9, S. 384. Bd. 12, S. 279. Bd. 13, S. 106), SCHENCK (PFLÜGERS Archiv, Bd. 64, 1896, S. 165, 607. Bd. 68, S. 32. Bd. 77, S. 44. Bd. 82, 1900, S. 192), G. MARTIUS, Beiträge zur Psychologie und Philosophie, Bd. 1, S. 275 ff., WIRTH, Archiv für die ges. Psychol. Bd. 1, Literaturber. S. 23 ff.

[2] FECHNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 45, 1838, S. 227.

[3] HELMHOLTZ, a. a. O. S. 530 ff.

lichen Lichterregung gleicher Empfindungszustand zurückbleibt, um dann in eine Reaktion von im allgemeinen entgegengesetzter Helligkeits- und Farbenbeschaffenheit überzugehen. Bei momentanen Lichteindrücken modifiziert sich dieses Gesetz des Wechsels noch dadurch, daß die Erregung ein oszillierender Vorgang ist, wodurch teils die beiden Erregungsphasen in zwei- oder mehrmaligem Wechsel aufeinander folgen, teils auch, bei farbigen Lichteindrücken, wechselnde Farbenempfindungen nachfolgen können. Jene beiden Hauptphasen der Erregung, die ohne Zweifel jedem Vorgang der Lichtreizung folgen, wenngleich die zweite unter Umständen wegen ihrer meist geringeren Intensität der Beachtung entgehen kann, bewegen sich nun aber, da die Lichtempfindung im allgemeinen die beiden Komponenten der Helligkeits- und der Farbenerregung enthält, zwischen Gegensätzen von doppelter Art: zwischen den Gegensätzen der *Helligkeit*, Hell und Dunkel, und zwischen jenen Gegensätzen der *Farbe*, die in der unmittelbaren Empfindung Farben größter Unterschiede des Farbentons und bei den Mischungsphänomenen komplementär zueinander sind. Nun pflegt man jede nach der Einwirkung eines Lichtreizes während einer kürzeren oder längeren Zeit zurückbleibende Netzhauterregung als ein *Nachbild* zu bezeichnen. Demnach lassen sich *Helligkeitsnachbilder* und *Farbennachbilder* von entgegengesetzten Phasen unterscheiden. Bei den ersteren hat man die Gegensätze der Phasen als *positive* und *negative*, bei den letzteren als *gleichfarbige* und *komplementäre* Nachbilder unterschieden. Geht man davon aus, daß Helligkeitserregungen bei jeder Lichtreizung vorhanden sind, während Farbenerregungen fehlen können, so ergibt sich demnach das folgende System möglicher Nachwirkungen:

Nachbilder

Positive		Negative	
Gleichfarbige	(Komplementäre)	(Gleichfarbige)	Komplementäre

Erfolgt die Reizung durch weißes Licht, so fallen die farbigen Nachbilder hinweg: das positive Nachbild bildet dann die erste, das negative die zweite Phase der Nachwirkung. Sind die Reize farbig, so sind in der Regel die positiven Nachbilder gleichfarbig, und die negativen komplementär. Doch können die in dem obigen Schema durch Klammern angedeuteten Kombinationen dann vorkommen, wenn die im Folgenden (f) zu beschreibenden Wirkungen des Kontrastes zu den Nachbildwirkungen hinzutreten.

Das obige Schema erweist sich vor allem auch für die Ordnung derjenigen Erscheinungen nützlich, die bei *länger dauernder* Ein-

wirkung der Lichtreize eintreten, indem in diesem Fall manche der oben geschilderten Nebenphänomene, wie die oszillierenden Erregungen, das farbige Abklingen, hinwegfallen, so daß sich die Erscheinungen ausschließlich zwischen den verschiedenen Arten der Nachbilder und ihrer Phasen bewegen. Im allgemeinen aber sind diese Wirkungen länger dauernder Lichtreize offenbar als Summationen der bei kurz dauernden beobachteten Wirkungen und Nachwirkungen der Erregung aufzufassen. Die verschiedenen Phasen der Nachbilder bieten sich hier dann am deutlichsten, wenn man eine farbige Fläche von großer Lichtintensität und Sättigung im halb verdunkelten Raum während einiger Zeit fixiert und hierauf an ihre Stelle plötzlich eine farblose Fläche von mäßiger Helligkeit bringt oder das Auge nach einer solchen hinbewegt. Man bemerkt dann in der Regel zuerst das sehr kurz dauernde gleichfarbige, und hierauf das länger dauernde komplementäre Nachbild. Der Übergang des einen in das andere wird beschleunigt, wenn der nachfolgende Lichteindruck eine nicht zu geringe Helligkeit besitzt. Am deutlichsten und dauerndsten sind daher die positiven und gleichfarbigen Nachbilder im dunkeln Gesichtsfeld des geschlossenen Auges nach kurz dauernder Einwirkung des Reizes zu beachten, wogegen in diesem Fall die komplementären Nachbilder sehr schwach sind und rasch verschwinden. Dagegen werden die letzteren durch längere Lichteinwirkung befördert, und sie können hierbei je nach den sonstigen Bedingungen sowohl positiv wie negativ sein: positiv, indem sie in gleicher oder scheinbar größerer Helligkeit wie der ursprüngliche Eindruck, negativ, indem sie in verminderter Helligkeit gesehen werden. Doch sind die komplementären Nachbilder in der Regel negativ. Positive kommen nur im dunkeln Gesichtsfelde zur Beobachtung. Betrachtet man z. B. eine helle Flamme durch ein rotes Glas lange genug, damit das gleichfarbige Nachbild nicht auftreten kann, und schließt man nun das Auge, so erscheint auf dem dunkeln Grund des Gesichtsfeldes ein intensiv grünes Nachbild der Flamme. Öffnet man das Auge und sieht auf eine weiße Fläche, so wird das Nachbild augenblicklich verdunkelt. Dieselbe Netzhautstelle, die bei schwacher Lichtreizung scheinbar eine gesteigerte Erregbarkeit erkennen läßt, zeigt demnach bei starker Lichtreizung eine verminderte: in beiden Fällen aber wird gemischtes Licht in dem zur ursprünglichen Farbe komplementären Tone gesehen. Offenbar muß also in bezug auf die Erregbarkeit für die verschiedenen Farbenstrahlen des gemischten Lichtes jedesmal der nämliche Zustand bestehen. Daß trotzdem das Nachbild hell auf dunkelm Grunde erscheint, läßt sich aber auf den Kontrast beziehen, der überall bei diesen Versuchen die Helligkeitsverhältnisse von Bild und Umgebung bestimmt. Ein farbiges Ob-

jekt auf gleichmäßig grauem Grund erscheint nämlich durch den Kontrast heller, der Grund dunkler, als sie in Wirklichkeit sind (vgl. unten f). Hieraus erklärt es sich ohne weiteres, daß positiv komplementäre Nachbilder nur bei geschlossenem Auge oder im Dunkeln wahrnehmbar sind, alsbald aber in negative überspringen, wenn eine stärkere Erleuchtung des Gesichtsfeldes eintritt. Durch diesen Wechsel werden jedoch nur die Bedingungen des Kontrastes, keine der sonstigen die Empfindung bestimmenden Verhältnisse geändert. Die günstigsten Bedingungen für die Entstehung langdauernder negativer und komplementärer Nachbilder sind hiernach immer dann vorhanden, wenn die primären Lichteindrücke eine längere Zeit auf das möglichst starr fixierende Auge einwirken. Auch die Bewegungen des Auges lassen sehr leicht die Nachbilder verschwinden, was wohl zumeist von der durch den Wechsel der Eindrücke eintretenden Störung der Aufmerksamkeit, vielleicht aber auch zum Teil von einer direkten physiologischen Wirkung der Augenbewegungen herrührt[1]. Bezeichnet man mit BRÜCKE den ursprünglichen Lichtreiz als das erregende oder induzierende Licht, den bei den bisher geschilderten Beobachtungen nachher einwirkenden farblosen Eindruck, auf dem sich das Nachbild entwickelt, als das reagierende Licht, so muß demnach stets reagierendes Licht vorhanden sein, damit das ursprünglich gleichfarbige in ein komplementäres Nachbild übergehen könne. In Wahrheit ist das auch bei den im Dunkeln oder bei geschlossenem Auge auftretenden positiven oder negativen komplementären Nachbildern der Fall, da im Dunkeln ebenfalls fortwährend schwache Lichterregungen stattfinden, die dann beim Schließen des Auges durch den dabei stattfindenden Druck verstärkt werden. Hieraus erklärt sich zugleich, daß selbst im absoluten Dunkelraum die Nachbilder bei offenem Auge bei weitem nicht so intensiv sind wie bei geschlossenem. Statt des farblosen kann nun aber auch ein beliebig farbiger Reiz als reagierendes Licht wirksam werden. Das komplementäre Nachbild erscheint dann immer nur in dem Sinne verändert, in welchem die Beimengung der Farbe auch einen dem Nachbilde gleichenden objektiven Eindruck verändern würde.

[1] A. E. FICK und GÜRBER (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 36, 2, 1890, S. 245 ff.) vermuten, daß der Blut- oder Lymphstrom durch die Bewegung gesteigert und so die Entfernung der erzeugten Zersetzungsstoffe begünstigt werde. Dazu ist freilich zu bemerken, daß nicht unter allen Umständen, sondern nur dann, wenn sie mit einem Wechsel der Eindrücke verbunden ist, die Bewegung die Entwickelung der komplementären Nachbilder hemmt. Vgl. hierzu HERING, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 37, 3, 1891, S. 1 ff., und A. E. FICK, ebend. Bd. 38, 1, 1892, S. 118. Auf die Bedeutung der Aufmerksamkeit haben GÖTZ MARTIUS (Beiträge zur Psychologie und Philosophie, Heft 1, 1896, S. 17 ff.) und W. WIRTH hingewiesen, wobei der letztere zugleich zeigte, daß dieses Moment nicht den Empfindungswert der Nachbilder selbst, sondern nur die Bedingungen ihrer Auffassung verändert (Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 477 ff.).

So erscheint z. B. violett nach einer Einwirkung des roten Urbildes bläulichgrün, rot nach der Einwirkung eines blauen rötlichgelb, usw. Eine Spektralfarbe kann auf diese Weise, wenn sie als reagierendes Licht zu dem Nachbild ihrer Komplementärfarbe verwendet wird, in überspektraler Sättigung erscheinen.

Im ganzen beruhen hiernach die Nachbilderscheinungen hauptsächlich auf drei Momenten, die in verschiedenen Fällen bald gemischt, bald voneinander isoliert zur Geltung kommen: erstens auf dem direkt durch den Lichtreiz hervorgerufenen Erregungsvorgang, der den Reiz immer merklich überdauert; zweitens auf der veränderten Reizbarkeit der Netzhaut, die, nachdem der Erregungsvorgang vorüber ist, eine kürzere oder längere Zeit zurückbleibt; dazu kommt dann drittens noch unter bestimmten, unten näher zu erörternden Bedingungen der Kontrast der Empfindungen. Die veränderte Reizbarkeit verursacht unter allen Umständen das komplementäre Nachbild, sei es negativ oder positiv; das unmittelbare Fortwirken der Erregung kommt als gleichfarbiges Nachbild zur Erscheinung; der Kontrast bestimmt hauptsächlich die größere oder geringere Intensität, in der sich die Nachwirkungen der Erregung geltend machen.

f. Zeitlicher Verlauf der Helligkeits- und Farbenerregung.

Die im Vorangegangenen beschriebenen Erscheinungen lassen deutlich erkennen, daß die Lichterregung des Auges, ähnlich der Druck- und der Schallerregung (S. 12, 75), in einem bestimmten zeitlichen Verlauf ansteigt. Sie zeigen aber auch, daß, zum Teil abweichend von diesen Sinnesgebieten, der Verlauf nicht mit der Erreichung einer bestimmten Maximalhöhe abgeschlossen ist, sondern in sekundären Erregungen nachwirkt, die nach der qualitativen Beschaffenheit der entsprechenden Empfindungen, namentlich der negativen und der komplementären Nachbilder, qualitativ von der primären Erregung verschieden sein müssen. Offenbar hängt hiermit zugleich die rasche Ermüdbarkeit des Sinnes zusammen, die einen augenfälligen Gegensatz zu der geringen Ermüdbarkeit des Druck- und besonders des Gehörssinnes bildet. Infolgedessen gestaltet sich nun die Aufgabe einer quantitativen Verfolgung des zeitlichen Verlaufs der Empfindung in diesem Falle verwickelter. Zunächst wird bei dem Gesichtssinn neben dem ansteigenden nicht minder der absteigende Teil der Erregungskurve in Betracht zu ziehen, und es wird außerdem der Verlauf der Helligkeitsempfindung von dem der Farbenempfindungen zu scheiden sein. Für beide kann man sich aber auch hier des nämlichen Prinzips der Vergleichung einer in ihrer Intensität konstant bleibenden und zeitlich

veränderlichen mit einer in ihrer Zeitdauer konstanten und in ihrer Intensität variierbaren Erregung bedienen, wie bei den früheren analogen Messungen. Nennen wir demnach wieder den der Erzeugung der ersteren Empfindung dienenden Reiz den Normalreiz, den zweiten den Vergleichsreiz (S. 11), so besteht auch hier die Aufgabe darin, mit Hilfe des Vergleichsreizes den Erregungsverlauf des Normalreizes, der das eigentliche Objekt der Untersuchung bildet, auszumessen. Diese Aufgabe läßt sich in der durch die Fig. 203 veranschaulichten Weise lösen. In einem absolut dunkeln Raum ist ein Schirm aufgestellt mit zwei dicht untereinander liegenden quadratischen, mit Mattglas bedeckten Öffnungen *N* und *V*. Die Einrichtung ist nun so getroffen, daß das von einer und derselben Lichtquelle ausgehende Licht das Feld *N* während einer kurzen, aber durch ein Pendel variierbaren Zeit in konstanter Intensität erleuchtet, wogegen das Feld *V* in einer jedesmal gleich bleibenden Zeit mit einer von Versuch zu Versuch photometrisch variierbaren Intensität erleuchtet wird. Zur gleichzeitigen Beobachtung beider Felder dient ein in der Figur durch einen kleinen Kreis angedeuteter schwachleuchtender Fixationspunkt. Endlich befindet sich hinter dem Schirm auf der vom Beobachter abgewandten Seite eine in zwei, den beiden Lichtfeldern entsprechende Teile geschiedene Pendelvorrichtung, die die Felder nur innerhalb der Periode eines Vorübergangs des Pendels sichtbar macht, während der zwischenliegende Fixierpunkt stets sichtbar bleibt. Der am Pendel angebrachte bewegliche Schirm wird nun so eingestellt, daß das in der Figur horizontal schraffierte obere Feld *N* während des Vorbeigangs mit einem in seiner Breite variierbaren, dagegen das vertikal schraffierte untere *V* mit einem konstant bleibenden Schlitz zur Deckung kommt. Es repräsentiert demnach *N* den Normal-, *V* den Vergleichsreiz. Soll mit dieser Vorrichtung der Verlauf der reinen, farblosen Helligkeitserregung bestimmt werden, so ist nun für jede Einwirkungsdauer von *N* diejenige photometrisch zu bestimmende Lichtstärke von *V* zu ermitteln, bei der *N* und *V* gleich hell erscheinen. Beide Lichtfelder entstehen und verschwinden daher für den Beobachter scheinbar gleichzeitig als rasch vorübergehende Phänomene[1]. Auf diese Weise läßt sich, indem in jedem Versuch Normal- und Vergleichsreiz auf Gleich eingestellt werden, zu jedem Zeitwert

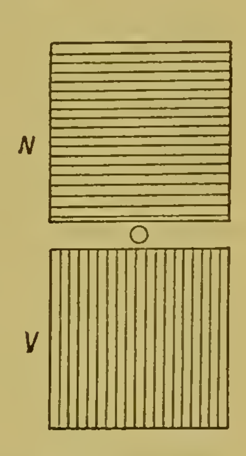


Fig. 203. Schema der Lichtfelder bei der Untersuchung des Verlaufs der reinen Helligkeitserregung.

[1] Max Büchner, Psychol. Stud. Bd. 2, 1907, S. 1 ff.

eines bestimmten Normalreizes der entsprechende Intensitätswert des Vergleichsreizes gewinnen. Trägt man nun auf der Abszissenlinie der Zeiten diese Intensitäten als Ordinaten auf, so stellt sich der Verlauf der ansteigenden Lichterregung bis zu ihrem Maximum und etwas über dieses hinaus in der Form einer Kurve dar, wie eine solche in Fig. 204 *I* für einen schwächeren, in *II* für einen stärkeren Lichtreiz dargestellt ist. Die in den Kurven angebrachten Punkte sind die wirklich beobachteten Werte. Sie sind zu besserer Veranschaulichung des Verlaufs durch eine kontinuierliche Linie verbunden. Auch hier erfolgt der Anstieg der Erregung oszillatorisch, ähnlich wie bei der Druck- und Schallerregung. Während aber im letzteren Fall die Empfindung bei fortdauerndem Reiz nur langsam von ihrem Maximum an wieder sinkt, fällt die Lichterregung sehr rasch

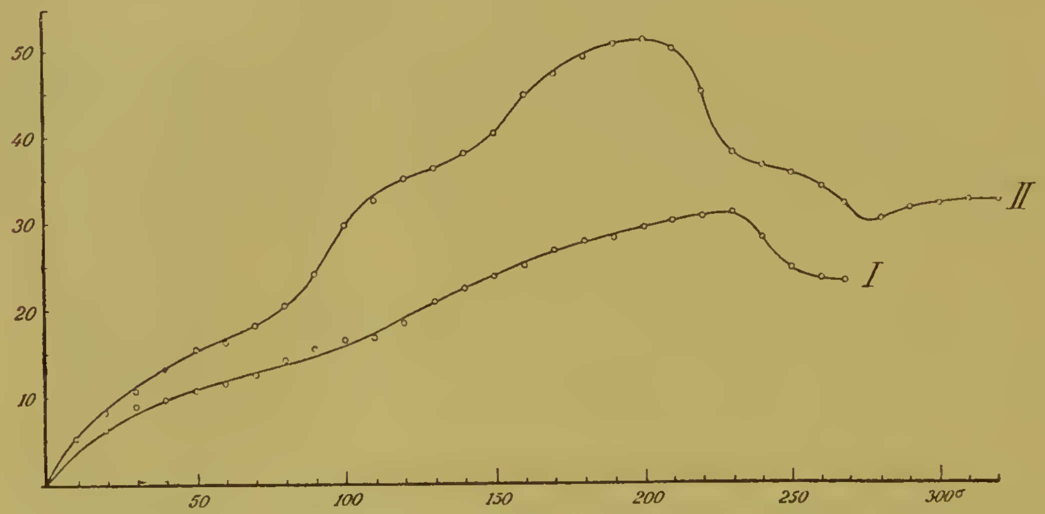


Fig. 204. Verlauf der Helligkeitsempfindung bei einer schwachen und einer stärkeren Erregung (*I* und *II*).

und ebenfalls oszillatorisch wieder ab. Zugleich ändert sich der Verlauf mit der Stärke des Reizes in dem Sinne, daß bei intensiveren Reizen das Maximum früher erreicht wird und die Oszillationen umfangreicher sind als bei schwächeren. Dies kann so weit gehen, daß bei intensiver Erregung im Dunkeln die dem Maximum nächsten Oszillationen wieder nahe an die Abszissenlinie herabreichen. Hieraus erklärt sich zugleich die oben (S. 195) erwähnte Beobachtung der scheinbaren Wiederholung eines momentanen elektrischen Funkens im Dunkeln[1].

Die Ergebnisse solcher im Dunkeln und daher bei entsprechender Dunkeladaptation der Netzhaut ausgeführten Versuche ändern sich nun nicht wesentlich bei der Helladaptation des Auges. Nur sind hier die

[1] Büchner, a. a. O. Fig. 7 S. 14. Vgl. dazu Hess, Pflügers Archiv, Bd. 101, S. 250.

Oszillationen weniger ausgeprägt, und bei andauerndem Reiz geht der Vorgang der Erregung kurz nach dem Maximum, ähnlich wie bei Druck und Schall, in eine längere Dauererregung über. Diese Unterschiede weisen darauf hin, daß die Netzhaut für dauerndes Sehen vorzugsweise für die Helladaptation eingerichtet ist, eine Eigenschaft, die sich uns später insbesondere auch bei den Erscheinungen des räumlichen Sehens bestätigen wird (Kap. XIV, 4). Dagegen ist die Zeit des Anstiegs der Erregung bei Hell- und Dunkeladaptation in ihrer Abhängigkeit von der Reizstärke eine übereinstimmende. Sie betrug innerhalb der Grenzen der von BÜCHNER angewandten Reize zwischen 60 und 120 σ (1 σ = 0,001 Sek.).

Nach einer im Prinzip übereinstimmenden Methode läßt sich nun auch der Verlauf der Farbenerregung untersuchen. Hierbei bieten sich aber, da sowohl Farbengrad wie Helligkeit veränderlich sind, drei Fälle möglicher Variation. Man kann nämlich 1) den Farbengrad (die Sättigung) verändern und die Helligkeit konstant erhalten, oder 2) bei gleich bleibendem Farbengrad die Helligkeit verändern, oder endlich 3) beide zugleich variieren. Der erste dieser Fälle repräsentiert demnach den Anstieg einer reinen Farbenerregung. Die Helligkeit der beiden verglichenen Felder N und V (Fig. 203) bleibt hierbei während einer Versuchsreihe gleich und konstant; aber bei dem Feld N wird durch eine stets gleich bleibende Mischung von Grau und Farbe am Farbenkreisel die Sättigung konstant erhalten, während die Einwirkungszeit planmäßig verändert wird. Bei dem Feld V dagegen wird durch eine variierbare Mischung mit Weiß die Sättigung verändert, während man die Zeit der Einwirkung konstant läßt. Es kann so das Verhältnis der Sättigungen verfolgt werden, indem man von der Sättigung Null (= Weiß oder Grau) des Vergleichsreizes ausgehend, sukzessiv durch Gleicheinstellung der Felder V und N eine Reihe von Sättigungsgleichungen erhält, die den Anstieg der Farbenerregung bis zu dem bei dauernder Einwirkung des Feldes N vorhandenen Sättigungsmaximum ergeben. Im zweiten Fall, bei der Untersuchung des Helligkeitsanstiegs einer Farbe bei konstant bleibendem Farbengrad, stimmt das Verfahren mit dem bei der reinen Helligkeitserregung überein, nur daß die Felder N und V zugleich farbig sind. Endlich im dritten Fall, bei der Untersuchung des Verlaufs einer nach den zwei Dimensionen Helligkeit und Farbe veränderlichen Empfindung werden beide in N bei variabler Einwirkungszeit konstant erhalten, während sie umgekehrt bei konstanter Einwirkungszeit veränderlich sind. Im ersten dieser drei Fälle, also bei der reinen Farbenerregung, zeigt der Verlauf die stärksten Abweichungen von der reinen Helligkeitserregung. Nicht nur sind die Oszillationen bis zur Erreichung des Maximums viel zahlreicher, sondern viele von ihnen vertiefen sich zu Remissionen, in-

dem an einzelnen Stellen die Kurve weit unter den Wellenberg der vorangegangenen Oszillationen herabsinkt, wie dies die Fig. 205 an dem Beispiel des spektralen Grün zeigt[1]. Diese Eigenschaften sind von der Qualität der Farbe und innerhalb weiter Grenzen auch von der Sättigung unabhängig. Erst bei sehr geringen Farbengraden nähert sich die Anstiegskurve der des reinen Helligkeitsanstiegs in Fig. 204. Ebenso geschieht das bei stärkerer Helligkeit der Farben, wo ja vermöge der früher (S. 166) erwähnten Beziehungen zwischen Farbengrad und Helligkeit zugleich die Sättigung abnimmt. Wie die Form, so ist übrigens auch die Gesamtzeit des Anstiegs der Farbenempfindung bei den verschiedenen Farben annähernd die gleiche: sie beträgt etwa 300 bis 350 b, übertrifft also den reinen Helligkeitsanstieg (60 bis 120 b) um mehr als das Doppelte. Variiert man dagegen bei gleichem Farbengrad die Helligkeit, so ändert sich das Bild der Anstiegskurve wieder im Sinne der reinen Helligkeitserregung: die Gesamtzeit verkürzt sich mit zunehmender Helligkeit, die Remissionen des Verlaufs werden an Zahl geringer und gehen schließlich in einfache Oszillationen über. Ähnliche Verhältnisse bieten sich, wenn Sättigung und Helligkeit gleichzeitig variiert werden.

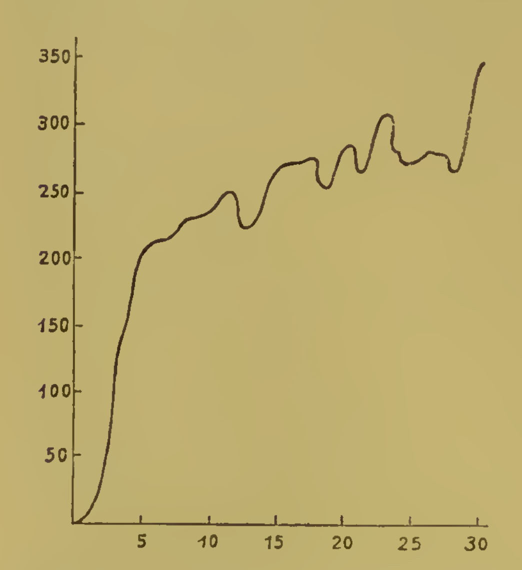


Fig. 205. Anstiegskurve einer reinen Farbenerregung (Grün). Einheit der Zeiten = 9 σ.

Von besonderem Interesse ist endlich beim Anstieg der Farbenerregung die Frage des Anfangspunktes dieses Anstiegs oder der »Zeitschwelle« der Farbenerregung. Er liegt stets etwas später als der Anfangspunkt der Helligkeitserregung, entsprechend der Tatsache, daß auch die Intensitätsschwelle der Helligkeit niedriger liegt als die der Farbe, so daß jede Farbe ebenso bei einer gewissen minimalen Dauer wie bei einer minimalen Intensität als reine Helligkeit empfunden wird. Diese Zeitschwelle variiert nun, im Gegensatze zu der für alle Farben gleichen Zeit der Erreichung des Maximums, beträchtlich bei den verschiedenen Farben. Die größten Unterschiede zeigen hier wieder, wie bei den Intensitätsschwellen, Blau und Gelb, indem Blau etwa 2—4 σ, Gelb 10—12 σ bis zur Erreichung der Schwelle bedarf. Da der Erregungsverlauf lediglich ein sukzessives Durch-

[1] B. Berliner, Psychol. Stud. Bd. 3, 1907, S. 91 ff.

laufen der verschiedenen Intensitäten ist, so bezeichnen hier offenbar Zeit- und Intensitätsschwelle im wesentlichen die gleichen Werte, die in beiden Fällen nur auf verschiedenem Wege, bei der Intensitätsschwelle mit Hilfe der Abstufung einer dauernden minimalen Reizung, bei der Zeitschwelle mittels der Bestimmung des Minimalpunktes der ansteigenden Farbenerregung gefunden wird. (Vgl. oben S. 205.) Die Unterschiede, die uns in allen diesen Beziehungen, in der Lage des Maximums wie des Minimums, besonders aber in dem auffallend abweichenden Verlauf der Erregungskurve entgegentreten, weisen darauf hin, daß Helligkeitserregung und Farbenerregung wesentlich verschiedene Prozesse sind, von denen die erstere für sich allein vorkommen kann, während sich die letztere stets zugleich mit einer bestimmten Helligkeitserregung verbindet, von der dann im letzteren Fall demnach die Eigenschaft abhängt, die wir als die Helligkeit einer Farbe bezeichnen. Anderseits erscheint die Farbenerregung als ein Prozeß, der in gewissen Grundeigenschaften, der Verlaufsform wie in der Gesamtdauer, bei den verschiedenen Farben übereinstimmt und nur, wie die Abweichungen zwischen Blau und Gelb lehren, in der verschiedenen Beimischung der Helligkeitserregung Unterschiede zeigt. Der oszillatorische Verlauf bei farblosen wie bei farbigen Reizen erinnert endlich so unverkennbar an die nicht nur bei den Druck- und Schallempfindungen, sondern auch bei der Reizung der motorischen Nerven beobachteten ähnlichen Erscheinungen, daß sie wohl auf allgemeine Eigenschaften des Erregungsverlaufs in der Nervensubstanz zurückgeführt werden müssen (Bd. 1, S. 102ff.). Auch hier wird man den oszillatorischen Verlauf, ähnlich wie bei den allgemeinen Erscheinungen der peripheren und zentralen Nervenerregung, auf eine Wechselwirkung erregender und hemmender Kräfte zurückführen können, die fortan in der Nervensubstanz wirksam sind und durch den Reiz nur zu verstärkter und in dem Sinne wechselnder Wirkung ausgelöst werden, daß bald die erregenden bald die hemmenden Kräfte relativ überwiegen. Hieraus wird dann im allgemeinen zugleich der Unterschied zwischen dem Verlauf der farblosen Helligkeits- und dem der Farbenerregung verständlich, insofern man annehmen darf, daß die letztere in viel höherem Grade, teils infolge ihrer Verbindung mit der Helligkeitserregung, teils und besonders aber infolge der Auslösung abweichender Farbenprozesse Neben- und Gegenwirkungen hervorbringt. Die Annahme solcher Gegenwirkungen, die durch die zahlreichen und starken Remissionen der Farbenerregungskurve nahegelegt wird, bestätigt sich nun in der Tat in den eigentümlichen Erscheinungen, die den nach der Erreichung des Maximums beginnenden a b s t e i g e n d e n Teil der Erregungskurve begleiten[1].

[1] B. BERLINER, a. a. O. S. 139 ff. Vgl. auch unten i und k.

Dieser absteigende Verlauf der Lichterregung umfaßt nun alle die Phasen, die oben nach ihrer rein qualitativen Seite als »Nachbilder« bezeichnet und je nach ihrem Verhältnis zur primären Erregung in positive, negative, gleichfarbige und komplementäre geschieden wurden. Von ihnen schließen sich die positiven oder gleichfarbigen so unmittelbar an den primären Erregungsverlauf an, daß sie schon bei diesem in ihrem unmittelbar der Erreichung des Maximums folgenden Stadium berücksichtigt worden sind. Es fordert darum hier nur noch der weitere Nachbildverlauf eine ihn ähnlich wie den Anstieg verfolgende methodische Messung an einem ihm in seinen verschiedenen Phasen entsprechenden Vergleichsreiz. Man hat dabei wiederum nur in jedem Stadium des Verlaufs diesen Ver-

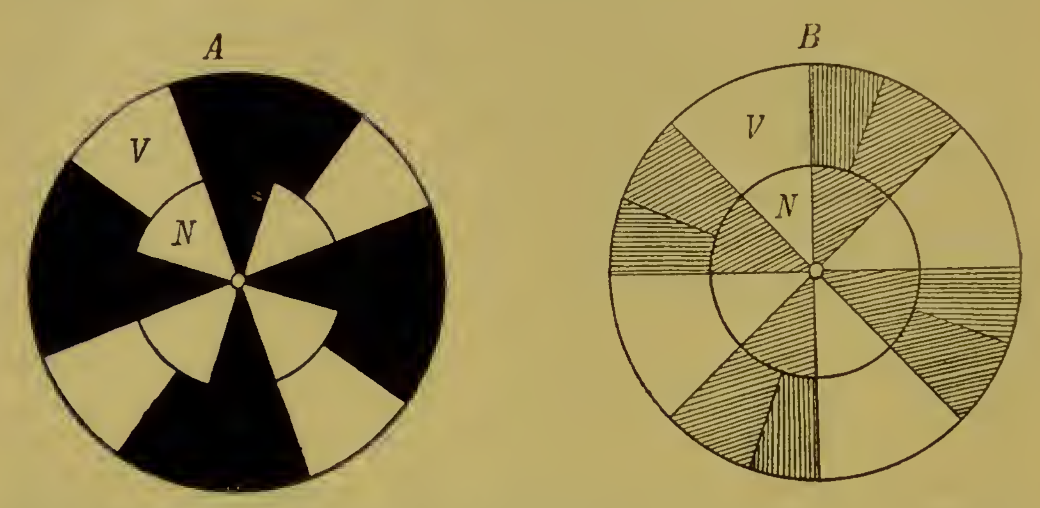


Fig. 206. Rotierende Scheiben mit unabhängig veränderlichen Sektoren zur Messung der Nachbildwirkung.

gleichsreiz in seiner Helligkeit oder Farbe oder in beiden zugleich so abzustufen, daß er dem in einer bestimmten Zeit erreichten Stadium der sogenannten Nachbildwirkung gleicht.

Das einfachste Hilfsmittel hierzu bieten die rotierenden Scheiben, die man sowohl in auffallendem Licht für Pigmentfarben, wie nach der früher (S. 176) beschriebenen Methode, in durchfallendem für Farben von spektraler Reinheit und Sättigung anwenden kann. Man bedient sich dazu kombinierter Farbenkreisel, die aus zwei Ringen, *N* und *V* Fig. 206, bestehen, und von denen einer, z. B. der innere *N*, in jedem Versuch ein konstantes Sektorenverhältnis beibehält, während der äußere *V* einem Kreisel mit während der Rotation verstellbaren Sektoren angehört (Fig. 198, S. 175). *A* veranschaulicht die Einrichtung für reine Helligkeitsnachbilder, *B* die für farbige Nachbilder. In beiden Figuren wollen wir den inneren Ring *N* als den Nachbildring, den äußeren *V* als den

Vergleichsring bezeichnen. Zugleich entspricht in diesem Fall *N* dem Normalreiz bei der Untersuchung der ansteigenden Erregung, *V* dem Vergleichsreiz. In *A* bestehen *N* und *V* aus schwarzen und weißen Sektoren, die in *N* ein festes Verhältnis mit überwiegendem Weiß, in *V* ein variierbares mit überwiegendem Schwarz zeigen. In *B* bestehen sie aus farbigen Sektoren, und zwar *N* aus einfarbigen (z. B. roten), *V* aus je zwei komplementärfarbigen (z. B. roten und grünen) in einem Verhältnis, in dem sie sich zu Weiß aufheben, indes die Helligkeit der beiden Ringe die gleiche ist. Bei der Rotation fixiert man, um ein möglichst ruhendes Nachbild zu erhalten, eine bestimmte Stelle nahe dem Mittelpunkt der Scheibe *N*. Dann entwickelt sich ein Nachbild, das sich mit der Dauer der Reizwirkung allmählich verändert, und das sich, wenn *N* fortwährend fixiert wird, in *A* als eine Helligkeits-, in *B* als eine Farbeabnahme des Urbildes bemerklich macht. Schiebt man dagegen vor das Objekt plötzlich einen Schirm, so wird dieser zum reagierenden Lichtreiz, und je nach der Helligkeit oder Farbe, die man dem Schirm gibt, kann nun das Abklingen des Nachbildes auf verschiedenen reagierenden Flächen beobachtet werden. In dem Augenblick, für welchen der Helligkeits- oder Farbengrad des Nachbildes bestimmt werden soll, stellt man die variablen Sektoren des Ringes *V* so ein, daß dieser dem inneren Kreis gleich erscheint. Dann entspricht die Sektorendifferenz zwischen *N* und *V* der Größe der Nachbildwirkung oder, wenn, wie das bei farblosen Erregungen stets der Fall ist, der dunkle Ring *V* eine entgegengesetzte Wirkung hervorbringt, der Differenz beider Nachbildwirkungen, die aber im allgemeinen der Nachbildwirkung von *N* proportional sein wird. Im übrigen unterscheiden sich die Messung des Helligkeitsnachbildes in *A* und die des Farbennachbildes in *B* nur dadurch voneinander, daß man bei *A* in dem Ring *V* dasjenige Verhältnis zwischen Schwarz und Weiß herstellt, das dem Kreis *N* oder seinem Nachbilde gleich erscheint, während man in *B* den einen der komplementärfarbigen Sektoren so lange über den andern schiebt, bis *V* mit *N* oder (bei der Projektion auf eine andere reagierende Fläche) mit dem Nachbilde von *N* gleichfarbig gesehen wird. Die auf solche Weise auszuführenden Messungen können sich dann eine doppelte Aufgabe stellen. Sie können 1) den Zeitverlauf der Nachbildwirkung unter wechselnden Bedingungen verfolgen; und sie können 2) die Intensität derselben zu verschiedenen Zeiten in ihrer Abhängigkeit von den sonstigen Bedingungen der Erregung, insbesondere von dem reagierenden Reiz untersuchen[1].

[1] W. Wirth, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 539 ff. Bd. 17, 1901, S. 333 ff. Über andere, im Prinzip mit der oben geschilderten übereinstimmende Versuchsanordnungen vgl. ebend. Bd. 16, S. 504 ff. Bd. 17, S. 353 ff.

Hierbei zeigt sich zunächst hinsichtlich des Zeitverlaufs der Nachbildwirkung, daß diese während der ersten 10 Sekunden sehr rasch ansteigt, um darauf, vorausgesetzt daß die erregende Helligkeit oder Farbe fortdauernd einwirkt, immer langsamer in einer annähernd parabolischen Kurve zu wachsen, bis sie endlich, ähnlich der Adaptation an eine gleichmäßig andauernde Helligkeit oder Farbe, ganz zum Stillstande kommt. In der Tat ist dieser Verlauf der Nachbilderregung bei fortdauernd einwirkendem Reiz offenbar nichts anderes als ein partieller Adaptationsvorgang der gereizten Netzhautstelle an den Reiz[1]. Wird dagegen das Nachbild von einem bestimmten Moment an auf eine andere Fläche von abweichender Helligkeit oder Farbe projiziert, so erfolgt der Rückgang der Nachbilderregung mit ähnlich abnehmender Geschwindigkeit. Zugleich übt aber jetzt das reagierende Licht einen mitbestimmenden Einfluß aus, indem das Nachbild um so rascher schwindet, je mehr seine Helligkeit oder Farbe von dieser reagierenden Fläche sich abhebt. Außerdem zeigen die Farbennachbilder durchweg einen schnelleren Verlauf als die reinen Helligkeitsnachbilder, und in der Peripherie der Netzhaut verschwinden sie rascher als im Zentrum derselben[2].

Die Intensität der in einem gegebenen Moment vorhandenen Nachbilderregung ist nun, außer von diesem Zeitverlauf der Erregung, wesentlich abhängig von dem reagierenden Licht der Fläche, auf der das Nachbild gesehen wird. Für dieses Verhältnis tritt aber bei dem Helligkeits- wie bei dem Farbennachbild mit großer Annäherung überall dieselbe Gesetzmäßigkeit ein, die bei den früher (Bd. 1, S. 559ff.) erörterten allgemeinen Beziehungen zwischen den Schwankungen der Erregbarkeit und der zu einer bestimmten Intensität der Erregung erforderlichen Reizstärke besteht. In der Tat ist daher diese Beziehung längst schon nach diesen allgemeinen psychophysischen Bedingungen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorausgesagt worden. Indem nämlich die in jedem Moment des Verlaufes vorhandene Erregung bei den negativen Nachbildern als eine Verminderung der von der reagierenden Fläche ausgehenden Erregung aufgefaßt werden kann, wird man annehmen können, daß die Nachbildwirkung stets einer entsprechenden Veränderung des objektiven Reizes äquivalent sei. Man darf also erwarten, daß sich die durch ein Nachbild affizierte Netzhautstelle nicht anders verhalte, als wie sich eine normale, nicht unter diesem Einfluß stehende verhalten würde,

---

[1] C. F. MÜLLER, Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung. Dissert. Zürich. 1866. J. VON KRIES, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 23, 2, 1877, S. 1 ff. und NAGELS Handbuch der Physiol. Bd. 3, S. 205 ff.

[2] W. WIRTH, Philos. Stud. Bd. 16, S. 531 ff. Bd. 17, S. 378 ff. A. WALTHER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 77, 1899, S. 53.

wenn sie von einem um den Betrag der Nachbildwirkung verminderten Reize getroffen würde. Darum hat bereits FECHNER auf Grund solcher allgemeiner Erwägungen für alle Sinnesgebiete und speziell auch für die Nachbildwirkungen dieses Prinzip als eine Art selbstverständlicher Forderung aufgestellt, indem er bei seinem »Parallelgesetz zum WEBERschen Gesetz« eben jene Äquivalenz von Reizbarkeitsänderung und proportionaler Reizänderung bei konstant bleibender Reizbarkeit voraussetzte[1]. Von HELMHOLTZ wurde dann das nämliche Prinzip speziell für den Gesichtssinn angenommen, jedoch ebensowenig wie vor ihm von FECHNER direkt durch Beobachtungen erwiesen[2]. Dagegen fand W. WIRTH, unter Anwendung der oben skizzierten Methode, daß sich der »FECHNER-HELMHOLTZsche Satz«, wie man hiernach dieses Prinzip bezeichnen kann, in weitem Umfang sowohl für Helligkeits- wie für Farbenänderungen bestätigt[3]. Hierbei ergab sich aber zugleich, als eine wichtige Ergänzung desselben, daß das Nachbild einer Farbe eine zu ihr komplementäre Verschiebung jeder beliebigen andern reagierenden Farbe hervorbringt, welche Verschiebung in ihrem Betrag der Helligkeit dieser reagierenden Farbe proportional ist und für gleich helle Farben beliebiger Sättigung (also Grau inbegriffen) ungefähr dem nämlichen absoluten Werte entspricht. Es besteht somit keine Einschränkung der Erregbarkeitsänderung auf bestimmte komplementäre Farbenpaare oder sogenannte »Gegenfarben«.

Die Zeit, die eine Netzhauterregung braucht, um ihr Maximum zu erreichen, hat zuerst EXNER für weißes Licht, dann KUNKEL für die verschiedenen Farben, DÜRR sowohl für die Helligkeits- wie für die verschiedenen Farbenerregungen zu bestimmen gesucht. Von den Erscheinungen des Flimmerns rotierender Scheiben und den oben (S. 195) schon erwähnten Nachwirkungen momentaner Lichteindrücke im Dunkeln ausgehend wies dann besonders HESS auf die zur Erklärung dieser Phänomene wahrscheinlich anzunehmenden oszillatorischen Schwankungen der Erregung hin, ohne übrigens den Verlauf in seinem ganzen Zusammenhang zu verfolgen[4]. Schließlich gelang es nach dem WIRTHschen Vergleichungsprinzip, diesen oszillatorischen Verlauf der Prozesse sowohl bei Helligkeits- wie bei Farbenempfindungen nachzuweisen. Zur Erläuterung der angewandten Methode sei hier die von BÜCHNER benutzte Versuchsanordnung für den Verlauf der Erregung im Zustand der

[1] FECHNER, Elemente der Psychophysik. Bd. 1, S. 300 ff. Vgl. auch oben Bd. 1, S. 632.
[2] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 363 u. 508.
[3] W. WIRTH, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 516 ff. Bd. 17, 1901, S. 360 ff.
[4] S. EXNER, Sitzungsber. der Wiener Akad. (2), Bd. 5, 1868, S. 601. KUNKEL, PFLÜGERS Archiv, Bd. 9, 1875, S. 197. DÜRR, Philos. Stud. Bd. 18, 1903, S. 215 ff. Vgl. über diese Versuche die 5. Auflage dieses Werkes Bd. 2, S. 202 ff.

Dunkeladaptation kurz skizziert[1]. Eine gut regulierbare Bogenlampe *B* (Fig. 207) ist so aufgestellt, daß sie eine in einem großen schwarzen Schirm eingesetzte Milchglasplatte *M* vollkommen gleichförmig erleuchtet und die letztere nun als Lichtquelle für die Versuche selbst dienen kann. Von ihr werden dann durch den zwischengeschobenen Spaltapparat *S S*, der mit zwei dicht überein-

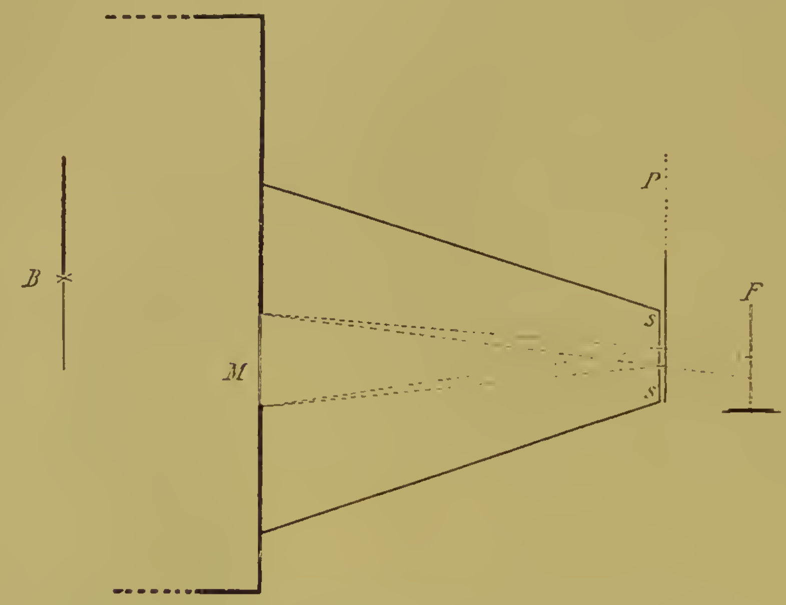


Fig. 207. Anordnung zur Untersuchung des Verlaufs der Helligkeitserregung bei Dunkeladaptation.

ander befindlichen Spalten versehen ist, auf dem Schirm *F* zwei Bilder auf zwei ebenfalls mit Milchglas verschlossene Öffnungen entworfen. Sie sind die beiden Lichtfelder *N* und *V* in Fig. 203 (S. 203). Dabei ist nun der Spaltapparat *S S* so eingerichtet, daß der untere Spalt mittels einer feinen Mikrometerschraube in seiner Breite verändert werden kann, um die Lichtintensität

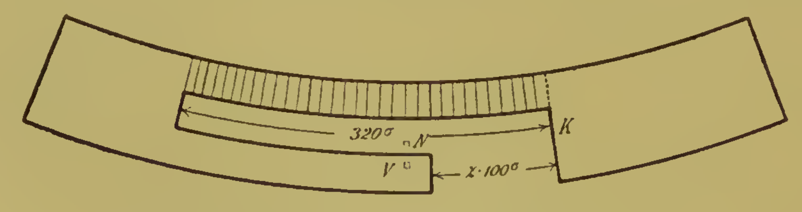


Fig. 208. Spaltpendel zum Apparat in Fig. 207.

abzustufen, wogegen der obere Spalt in seiner Breite konstant bleibt, also noch eine konstante Lichtstärke aussendet. Die Einwirkungsdauer des Lichtreizes wird ferner durch das an den beiden Spalten vorbeischwingende Pendel *P*, dessen unterer Teil in Fig. 208 besonders abgebildet ist, variiert werden. Dieses Pendel *P* stellt nämlich in seinem vor dem Spaltapparat *S S* vorbei-

[1] BÜCHNER, Psychol. Stud. Bd. 2, S. 6 ff. Über die Modifikationen des Verfahrens bei Helladaptation siehe ebend. S. 18 ff., über die Untersuchung der Farbenerregung BERLINER ebend. Bd. 3, S. 95 ff.

schwingenden unteren Teil einen beweglichen Schirm dar, der, so lange er seitlich abgelenkt ist, beide Spalten verdeckt, so daß sie nur während einer kurzen Zeit bei seinem Vorübergang frei werden, wo nun die beiden Bilder auf *F* anscheinend momentan entstehen und wieder verschwinden. Nun ist der untere Spalt *V* dieses Pendels, der durch die Spaltvorrichtung *S S* in seiner Lichtintensität zu variieren ist, in seiner Breite konstant; der obere, der in seiner Lichtstärke unverändert bleibt, ist mittels der Einstellung an der über ihm befindlichen Einteilung in seiner Breite, also in der Einwirkungsdauer des Lichtes veränderlich. Das Pendel wird durch einen Elektromagneten in seiner einen Seitenlage festgehalten und, nachdem es in einem einzelnen Versuch seinen Vorübergang beendet hat, sofort durch einen zweiten Elektromagneten in der entgegengesetzten Lage festgehalten. Hiermit sind die Bedingungen für die Variation und Gleicheinstellung der auf dem Schirm *F* befindlichen Lichtfelder *N* und *V* gegeben. Entweder kann man zuerst *N* in seiner Einwirkungsdauer variieren und dann jedesmal *V* durch Abstufung der Lichtstärke auf Gleichheit mit *N* einstellen, oder man kann zuerst für *V* eine bestimmte Lichtstärke wählen und dann *N* durch Variation der Einwirkungszeit auf Gleich einstellen. Auf diese Weise läßt sich die Anstiegskurve für hinreichend viele Punkte gewinnen, um ihren Verlauf bis zum Maximum und noch eine erhebliche Strecke darüber hinaus verfolgen. Bei den älteren Versuchen von Exner, Kunkel und Dürr war vermöge der eingeschlagenen Methode nur eine Zeitbestimmung für das Maximum der Erregung möglich gewesen. Doch stimmen die hier von Exner gewonnenen Zahlen für die Helligkeitserregung, die je nach der Lichtstärke 265—118 σ betrugen, mit den Resultaten Büchners im Hinblick auf die Verschiedenheit der Methode ziemlich gut überein. Ebenso fand Dürr bereits erheblich größere Zeiten für die farbige als für die farblose Erregung, bei dieser 265—270 σ, bei jener etwa 500 σ. Immerhin waren beidemal die absoluten Werte auch hier erheblich größer als in den Versuchen Berliners, was sich wohl ebenfalls aus der geringeren Sicherheit der Methode erklärt.

Die Aufgabe, den absteigenden Teil der Erregungskurve oder den Verlauf der Nachbildwirkung quantitativ zu bestimmen, bietet besonders bei den positiven und gleichfarbigen Nachbildern wegen der Flüchtigkeit derselben große Schwierigkeiten. Prinzipiell ist aber auch hier eine Messung nur in der Weise möglich, daß man eine Helligkeit und Farbe in einem bestimmten Moment mit der Helligkeit und Farbe eines andern Eindrucks vergleicht und ermittelt, welche Intensität der Vergleichsreiz haben muß, damit sein Helligkeitseindruck dem Nachbilde, das durch einen Lichtreiz von bestimmter Intensität ausgelöst wurde, gleich hell erscheint. Um die Schwierigkeit dieser Messungen nicht zu vermehren, verdunkelte R. H. Goldschmidt, der als der erste solche quantitative Untersuchungen ausführte[1], zu Beginn eines jeden Versuches das gesamte Sehfeld, so daß nur ein Fixationspunkt gesehen werden konnte; dann trat (so weit von dem Fixationspunkt entfernt, daß es gerade parafoveal gesehen wurde) während einer Zeit von 0,253 Sek. ein kleines, scharf begrenztes leuchtendes Reizfeld auf, nach dessen Verschwinden bei guter Fixation an der gleichen Stelle zunächst für sehr kurze Zeit ein helles Nachbild aufblitzte, worauf eine negative Nachbildphase

[1] Seine Arbeit wird demnächst in Bd. 5 der Psychol. Stud. erscheinen.

durch einen Lichthof um die Stelle des Reizfeldes angedeutet wurde. Dann entwickelte sich allmählich das (bei farbigen Reizen dem Reiz gleichfarbige) positive Nachbild, das immer heller heraustrat und nach seinem hellsten Erscheinen allmählich wieder verschwand. Gleichzeitig mit dem hellsten Erscheinen des Nachbildes wurde nun der Vergleichsreiz dargeboten, und dessen Helligkeitseindruck mit der Nachbildhelligkeit verglichen. So ergaben sich die verschiedenen Helligkeitswerte für die durch verschiedene Lichtreize ausgelösten positiven Nachbilder. Dabei zeigte sich, daß mit dem Wachsen der Reizstärken die Helligkeitswerte dieser Nachbilder zunächst sehr schnell, dann aber sehr allmählich zunehmen. So wurde die Nachbildhelligkeit nach einem schwachen Lichtreize dem Helligkeitseindruck eines etwa 8 mal schwächeren Vergleichsreizes, die nach einem 100 mal stärkeren Lichtreize dem eines etwa 254 mal schwächeren gleichgeschätzt. Mithin verhalten sich die Helligkeitswerte der Nachbilder wie 1 : 3,2, wenn ihre Reize die Intensitäten 1 bzw. 100 haben. Dabei schwanken die absoluten Werte für die Helligkeiten von Nachbildern an verschiedenen Versuchstagen sehr erheblich, die relativen wenig. Bei stark zunehmender Dunkeladaptation steigt nur in ganz geringem Maße die Nachbildhelligkeit. Dagegen zeigt sich die chromatische Adaptation von großem Einfluß auf dieselbe. Mit der Reizdauer wächst ferner die Nachbildhelligkeit zunächst erheblich bis etwa zur Maximalzeit des Reizes, dann ganz allmählich; und die Nachbildhelligkeit wächst innerhalb bestimmter Grenzen mit der Reizfeldgröße, ist aber außerdem abhängig von der Lage des Reizes im Gesichtsfeld.

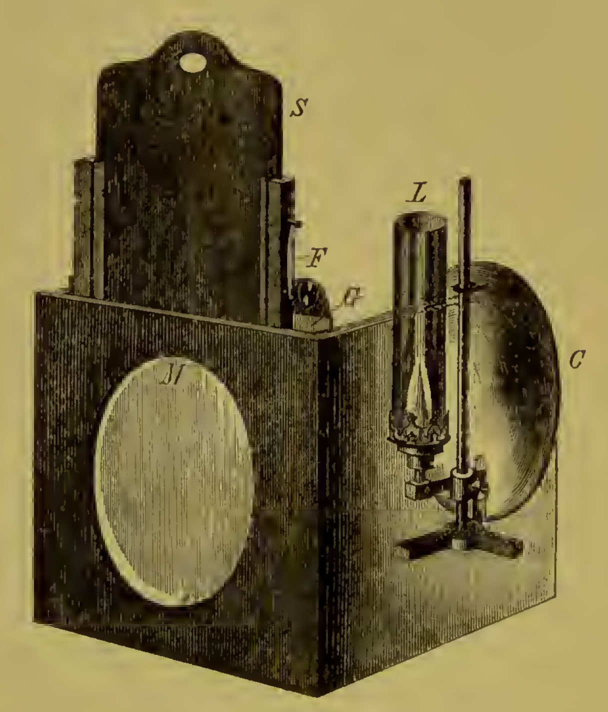


Fig. 209. Apparat zur Erzeugung komplementärfarbiger Nachbilder.

Im weiteren Verlauf des absteigenden Teils der Erregungskurve innerhalb der Phasen des negativen und komplementären Nachbildes steht einer genauen quantitativen Untersuchung vor allem der Umstand im Wege, daß hier die Dauer und Deutlichkeit der Nachbilder großen individuellen Schwankungen unterworfen ist, was bei den farbigen zum Teil mit den unten zu erörternden Anomalien der Farbenempfindungen zusammenhängt. Ein »farbentüchtiges« Auge sieht, wenn der Lichtreiz hinreichend stark ist, in der Regel schon bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung sowohl das kurzdauernde gleichfarbige wie namentlich das ihm dann folgende länger dauernde komplementäre Nachbild sehr deutlich, wenn man eine aus einer möglichst gesättigten Pigmentfarbe hergestellte kleinere farbige Fläche auf komplementärem

Grunde kurze Zeit betrachtet und dann an die Stelle des Objektes eine farblose Fläche schiebt oder auch mit dem Blick auf eine solche übergeht. Die Erzeugung intensiverer komplementärfarbiger Nachbilder gelingt aber leicht mit dem in Fig. 209 dargestellten Apparate. Derselbe besteht aus einem hinten und oben offenen Kasten, der vorn einen kreisförmigen Ausschnitt von 20 bis 30 cm Durchmesser hat, in welchen Ausschnitt eine Mattglasplatte *M* eingefügt ist. Die geschwärzte Außenseite des Kastens wird vorn im Umkreis der Mattglasplatte mit durchscheinendem weißem Papier bedeckt, so daß die Platte in dem verdunkelten Raum, in dem die Versuche anzustellen sind, weiß auf grauem Grunde erscheint. Unmittelbar hinter der Mattglasplatte befinden sich im Innern des Kastens zwei Schlitten: ein vorderer, in welchem der geschwärzte, unten mit Blei beschwerte Schieber *S* läuft, und ein hinter diesem gelegener, in den eine farbige Glasplatte *G* eingeführt werden kann. In weiterer Entfernung befindet sich noch im Innern des Kastens die mit Argandbrenner versehene Gaslampe *L* mit dem weiß angestrichenen etwas konkaven Schirm *C*, der das Licht der Flamme gegen *M* reflektiert. Bei Anstellung der Versuche setzt man zuerst die farbige Platte *G* bei herabgelassenem Schirm ein,

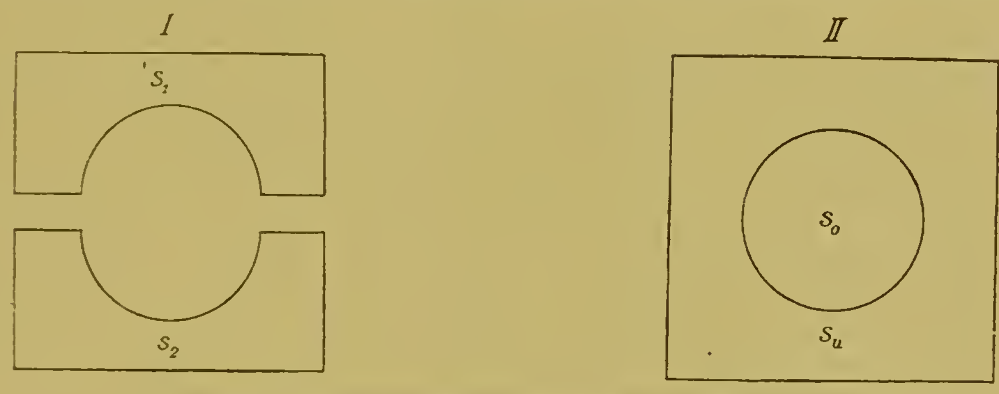


Fig. 210. Schirmvorrichtungen zu Nachbildversuchen.

dann wird *S* plötzlich in die Höhe gezogen, wodurch *M*, welches starr zu fixieren ist, intensiv in farbigem Lichte erscheint. Ist die zur Erzeugung des komplementären Nachbildes erforderliche Zeit verflossen, so läßt man durch Zug an der den Schieber *S* festhaltenden Feder *F* diesen plötzlich herabfallen: es erscheint dann der Kreis *M*, dessen reagierendes Licht jetzt objektiv eine Mischung aus dem Weiß der Mattglasplatte und dem Schwarz des Schiebers, also grau ist, sehr intensiv in der zu dem vorangegangenen Eindruck komplementären Farbe.

Um auch den Verlauf der komplementären Nachbilder so weit als möglich messend zu verfolgen, wurden übrigens von C. F. Müller, J. von Kries und namentlich von W. Wirth ebenfalls nach dem Prinzip der Vergleichung mit einem unabhängig gegebenen Lichtreiz Versuche ausgeführt. Die Messungen Wirths erstrecken sich auf Pigment- und auf künstlich (durch Strahlenfilter) hergestellte Spektralfarben, wobei sich in beiden Fällen Scheiben und Episkotister mit während der Rotation variierbaren Sektoren oder Ausschnitten besonders nützlich erwiesen[1]. Werden Scheiben wie die in Fig. 206 *B* dargestellte

[1] Rücksichtlich der näheren Beschreibung der mannigfachen sich zum Teil kontrol-

als Episkotister benutzt, so treten hierbei an die Stelle der weißen Sektoren dunkle, verstellbare aus Blech (Bd. 1, S. 663, Fig. 157), und an die Stelle der farbigen Pigmente spektralreine Gelatinekombinationen (S. 176). Zur momentanen Ausschaltung der Einwirkung des äußeren oder inneren Rings der Scheiben können Schirmkombinationen wie die in Fig. 210 in stark verkleinertem Maßstabe abgebildeten dienen. So lange sich die beiden Schirmhälften s_1 und s_2 (I) berühren, wird der Vergleichsring V verdeckt. Die Kombination ist daher geeignet, um den Verlauf der Erregung bei dauernder Fixation von N zu verfolgen, indem immer nur auf Augenblicke der Vergleichung V durch Auseinanderziehen der Schirme zum Zweck der Messung enthüllt wird. Für die Verfolgung des Nachbildverlaufs auf irgendeiner andern reagierenden Fläche dienen die einander superponierten Schirme s_o und s_u in II, wo s_o die reagierende Fläche von beliebiger Farbe und Helligkeit ist, und s_u in den Momenten hinweggezogen und dadurch V enthüllt wird, wo das auf s_o entworfene Nachbild gemessen werden soll. Als bemerkenswert ist aus diesen Versuchen im Anschluß an die oben dargelegten allgemeinen Ergebnisse noch hervorzuheben, daß sich durchweg die Größe der Nachbildwirkung unabhängig erweist von der Größe der reagierenden Fläche, soweit nicht Kontrasteinflüsse hereinspielen, die jedoch bei den oben beschriebenen Messungen durch die subjektive Kompensation des Nachbildes jederzeit ausgeschlossen werden. Ferner ist, obgleich, wie bemerkt, farbiges wie farbloses reagierendes Licht in gleicher Weise auf farbige und farblose Nachbilder proportional seiner Helligkeit reagiert, die Helligkeitsänderung des Nachbildes etwa um ein Drittel kleiner als die Farbenänderung. In dieser Beziehung erscheinen also die verschiedenen Farben als Gegensätze gleicher Art, gegen das Schwarz, insofern eben Schwarz diejenige Lichtqualität ist, bei der das Minimum der Reaktionswirkung besteht. Den stärksten Gegensatz zu dem Schwarz bildet auf der andern Seite das farblose Weiß. Demnach nimmt das Schwarz gegenüber allen Lichtempfindungen einschließlich der Farben eine kontrastierende Sonderstellung ein, während es außerdem noch wegen des Zusammenhangs mit den reinen Helligkeitserregungen einen besonderen Gegensatz zu Weiß bildet. Dies sind Verhältnisse, die durchaus wieder der auf Grund der unmittelbaren subjektiven Beziehungen der Lichtempfindungen entworfenen symbolischen Darstellung des Farbensystems konform erscheinen (Fig. 191, S. 167).

Eine weitere Entscheidung liefern endlich diese messenden Versuche hinsichtlich einer andern Frage, die Gegenstand abweichender Beantwortung gewesen ist, der Frage nämlich nach dem Verhältnis des reagierenden Lichtes zur Entwickelung des Nachbildes. Daß dieses in seiner Beschaffenheit und in der Art seines Verlaufs von dem Lichte abhängt, das nach der Einwirkung des Nachbildreizes auf die gleiche Netzhautstelle einwirkt, daran kann natürlich kein Zweifel sein. Wohl aber ist es Gegenstand des Streites, ob, wie FECHNER und HELMHOLTZ behaupten, alle Nachbildwirkungen an das Vorhandensein reagierenden Lichtes gebunden, oder ob sie, wie zuerst BRÜCKE und dann HERING und HESS annahmen, auch dann noch zu beobachten sind, wenn dieses gänzlich fehlt[1]. Auf Grund rein qualitativer Beobachtungen ist

---

lierenden Methoden und ihrer technischen Ausführung vgl. WIRTH, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 504 ff. Bd. 17, 1901, S. 318 ff.

[1] BRÜCKE, Denkschriften der Wiener Akademie, Bd. 3, 1850, S. 95. HERING, Zur

diese Streitfrage kaum zu entscheiden. Denn da die Netzhaut selbst im absoluten Dunkelraum immer gewissen Lichtreizen, mindestens solchen, die von dem intraokularen Druck oder von den Augenbewegungen herrühren, ausgesetzt ist, so steht es jederzeit frei, diese subjektiven Lichtphänomene als das bei den komplementären Nachbildern im Dunkeln wirksame reagierende Licht zu betrachten, oder aber anzunehmen, daß dieses subjektive Licht entweder ganz fehlen, oder daß es mindestens nicht denselben Einfluß wie das objektive ausüben könne. In der Regel wurde darum auch diese Frage von bestimmten theoretischen Voraussetzungen aus im einen oder andern Sinne beantwortet. Die messende Untersuchung des Nachbildverlaufes bietet nun aber die Möglichkeit einer von irgendwelchen Hypothesen unabhängigen Prüfung. Sobald nämlich der FECHNER-HELMHOLTZsche Satz auf die Nachwirkungen der Netzhauterregung in dem Sinne zutrifft, daß sich Steigerung oder Herabsetzung der Erregung genau ebenso in der Stärke der Nachbilderscheinungen geltend machen, wie Zu- oder Abnahme eines objektiven, reagierenden Lichtes, so ist damit auch der Beweis geliefert, daß für den Verlauf der Nachwirkungen jenes nie fehlende reagierende Licht wesentlich bestimmend ist.

Schließlich sei hier noch erwähnt, daß in das Gebiet der Nachbildphänomene höchst wahrscheinlich auch ein Teil der Wirkungen gehört, die bei intensiven Netzhauterregungen eines Auges im Auge der andern Seite eintreten. TITCHENER beobachtete nämlich hierbei neben dem Nachbild im direkt gereizten auch ein freilich viel schwächeres im nicht gereizten Auge. Dasselbe ist von den unten zu besprechenden Erscheinungen des binokularen Kontrastes, mit denen es wohl meist zusammengeworfen wurde, auf das bestimmteste zu unterscheiden. Es ist zunächst in seiner Qualität dem primären Nachbilde gleich, nur von weit geringerer Intensität, und zeigt einen ähnlichen Phasenverlauf wie dieses. Man darf wohl annehmen, daß dieses sekundäre Nachbild auf einer Miterregung beruht, die durch die vom Mittelhirngebiet kommenden zentrifugalen Optikusfasern zustande kommt. (Vgl. Bd. 1, Fig. 78, S. 234[1].) In nahem Zusammenhang mit dieser Miterregung stehen wohl auch die Erscheinungen, die bei gleichzeitiger Erregung beider Netzhäute zu beobachten sind. Danach scheint aber zugleich diese Wechselwirkung bei der Reizung korrespondierender und disparater Netzhautstellen sowie außerdem, vielleicht infolge von Kontrasteinflüssen, bei Hell- und Dunkeladaptation abzuweichen. So fanden FEILCHENFELD und LÖSER auf korrespondierenden Stellen bei hell adaptiertem Auge Verminderung, bei dunkel adaptiertem Auge Vermehrung der Helligkeit durch den Hinzutritt des Lichtreizes im zweiten Auge. Bei der Reizung disparater Stellen beobachteten sie dagegen in beiden Fällen Abnahme der Helligkeit[2].

Lehre vom Lichtsinn, I. Wiener Sitzungsber. (3), Bd. 66, 1872, S. 5 ff. C. HESS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 36, 1, 1890, S. 1 ff.

[1] TITCHENER, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 231 ff.

[2] FEILCHENFELD und LÖSER, Archiv für Ophthalm. Bd. 60. 1905, S. 27 ff. Vgl. auch SHERRINGTON, Brit. Journ. of Psychol., I, 1905, p. 26, und unten Kap. XIV, 5 über die »binokularen Wettstreitserscheinungen«.

g. Kontaktwirkungen der Lichterregung: Kontrasterscheinungen.

Legt man von zwei aus mattschwarzem Papier geschnittenen Quadraten das eine auf einen weißen, das andere auf einen grauen Hintergrund, so erscheint das erste dunkler als das zweite. Ebenso erscheint ein graues Objekt auf schwarzem Grund etwas heller als auf weißem (Fig. 211). Die Helligkeit, in der ein Netzhauteindruck empfunden wird, ist also nicht bloß von seiner eigenen Lichtstärke, sondern auch von der seiner Umgebung abhängig, indem unsere Empfindung um so mehr in einem bestimmten Sinne ausgeprägt erscheint, je mehr sie in der Umgebung durch den hier stattfindenden Eindruck nach der entgegengesetzten Richtung bestimmt wird. Man bezeichnet deshalb alle diese



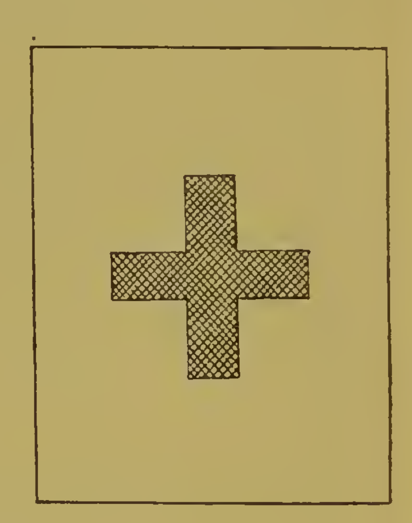


Fig. 211. Helligkeitskontrast.

Kontaktwirkungen der Lichterregung als Kontrasterscheinungen. In ähnlichem Sinne wie in dem beschriebenen Versuch die farblosen Empfindungen durch die verschiedene Helligkeit ihrer Umgebung, werden aber Farben verändert, wenn in der Umgebung andersfarbige Eindrücke stattfinden. Wie die Helligkeitsempfindung um so intensiver ist, je stärker der Gegensatz zur Umgebung, so wird die Farbenempfindung um so gesättigter, je mehr sie sich von der Farbenerregung der umgebenden Netzhaut unterscheidet. Die Farben des größten Gegensatzes sind aber die auf der Farbentafel einander gegenüberliegenden Komplementärfarben. Jede Farbe wird daher dann in größter Sättigung empfunden, wenn die umgebende Netzhaut von einem komplementärfarbigen Eindruck getroffen wird. Um die einzelnen Farben im Maximum ihrer Sättigung erscheinen zu lassen, muß man also z. B. Rot auf grün-

blauem, Gelb auf violettem, Grün auf purpurrotem Grunde betrachten. Augenscheinlich besteht hiernach eine Analogie zwischen den Kontrasterscheinungen und den negativen und komplementären Nachbildern. Bei diesen zeigt sich eine gegebene Netzhautstelle dann zur möglichst gesättigten Empfindung einer Farbe disponiert, wenn zuvor die Kontrastfarbe einwirkt. Man hat daher auch die durch vorangegangene Reizung hervorgerufene Veränderung als sukzessiven Kontrast bezeichnet, und davon die eigentlichen Kontrasterscheinungen, die auf der Wechselbeziehung jeder empfindenden Stelle zu ihrer Umgebung beruhen, als simultanen Kontrast unterschieden. Jener sukzessive kann nun natürlich neben dem simultanen Kontrast bestehen. Man kann zuerst einer Netzhautstelle durch Reizung ihrer selbst und hierauf, während der Eindruck stattfindet, durch Reizung ihrer Umgebung mit komplementärem Licht oder mit einer entgegengesetzten Helligkeit die möglichst große Empfindlichkeit für einen Lichtreiz verleihen. Jeder Eindruck wird daher dann am entschiedensten in der ihm eigenen Helligkeit und Farbe empfunden, wenn er ebensowohl durch sukzessiven wie durch simultanen Kontrast gehoben ist.

Die Erscheinungen des eigentlichen oder simultanen Kontrastes, die wir übrigens im Folgenden, um Verwechselungen zu verhüten, allein als Kontrasterscheinungen bezeichnen wollen, bieten sich nun der Beobachtung je nach den obwaltenden Bedingungen in den verschiedensten Verbindungen und Graden dar. Zunächst scheiden sich auch hier nach den allgemeinen Komponenten der Lichtempfindungen die Helligkeitskontraste und die Farbenkontraste. Beide können wieder verbunden oder isoliert voneinander und in verschiedener Stärke vorkommen. Solche Unterschiede sind bei Helligkeitskontrasten vornehmlich von der Lichtstärke und der Ausdehnung der Eindrücke, bei Farbenkontrasten außerdem von dem Farbenton und der Sättigung abhängig. Legt man ein weißes Objekt von immer gleicher Beschaffenheit, z. B. ein Quadrat aus weißem Papier, auf verschiedene nebeneinander gestellte dunkle Flächen, die von vollkommenem Schwarz durch dunkles Grau bis zu Lichtgrau abgestuft sind, so erscheint das weiße Objekt in abgestufter Helligkeit: auf dem schwarzen Grunde am hellsten, auf dem lichtgrauen am wenigsten hell. Variiert man nun aber nicht bloß die Helligkeit des Grundes, sondern auch diejenige des Objektes, so bemerkt man, daß ein lichtgraues Papier auf schwarzem Grunde in seiner Helligkeit verhältnismäßig viel mehr gehoben erscheint als ein weißes auf demselben schwarzen Grunde; beide erscheinen ungefähr gleich weiß. Offenbar erreicht also der Kontrast bei einer bestimmten Helligkeitsdifferenz der Eindrücke sein Maximum.

Bei farbigen Eindrücken läßt sich der Kontrast in dreifacher Weise variieren: indem man erstens den Farbenton, zweitens den Farbengrad, und drittens die Helligkeit der kontrastierenden Eindrücke verändern kann. Der Farbenkontrast läßt sich somit in drei Kontrastformen zerlegen: den eigentlichen Farbenkontrast, den Sättigungskontrast und den Helligkeitskontrast. In der Regel sind an einer einzelnen Kontrasterscheinung alle drei Faktoren beteiligt. Doch kann auch eine, oder es können sogar zwei von ihnen verschwinden, vorausgesetzt nämlich, daß die kontrastierenden Objekte in den betreffenden Empfindungseigenschaften, Farbenton, Farbengrad oder Helligkeit, einander gleich sind.

Daß bei dem eigentlichen Farbenkontrast Komplementärfarben den größten Kontrast geben, wurde schon bemerkt. Dieser vermindert sich, wenn die Farbentöne einander näher oder ferner sind. Für die Empfindung ist beides in Anbetracht der geschlossenen Gestalt der Farbenkurve identisch: denn hier sind alle nicht komplementären Farben einander näher als die Ergänzungsfarben, und die Hebung durch den Kontrast vermindert sich daher mit dieser Annäherung. Dabei ändert sich, so lange man nur den Farbenton variiert, Sättigung und Helligkeit aber konstant erhält, ebenfalls nur der Farbenton. Das Maximum des Kontrastes wird dann erreicht, wenn die beiden Farben komplementär sind; und mit der Verschiebung der Farben ändert sich dies dergestalt, daß der Ton einer jeden in einem Sinne modifiziert erscheint, welcher der Annäherung an das nächstliegende Komplementärfarbenpaar entspricht. Nennen wir, analog wie bei den Nachbildern, diejenige Farbe, die durch eine andere beeinflußt wird, die reagierende oder induzierte, diejenige, die den Einfluß ausübt, die induzierende, so lassen sich die Erscheinungen der Farbeninduktion durch Kontrast am zweckmäßigsten in der Weise studieren, daß man von der Farbe, die man als reagierende benutzen will, Objekte von gleicher Größe, also z. B. Papierstücke, die mit möglichst gesättigten Pigmenten bemalt sind, auf eine Reihe nebeneinander gelegter größerer Stücke legt, die nach den Hauptfarben des Spektrums abgestuft sind. Man kann dann das farbige Objekt als die induzierte, den andersfarbigen Hintergrund als die induzierende Farbe betrachten. Legt man auf diese Weise z. B. rote Objekte nebeneinander auf einen orange, gelb, gelbgrün, grün, grünblau usw. gefärbten Hintergrund, so erscheint das Rot in völlig unverändertem Farbenton auf seinem komplementären, dem blaugrünen Hintergrund. Auf grünem erscheint es etwas in Purpur verändert, auf Gelbgrün, Gelb, Orange nimmt es allmählich einen violetten und bläulichen Schimmer an, wogegen es sich auf Blaugrün, Blau usw. mehr dem Orange und Gelb nähert. In ähnlicher Weise bleibt Grün unverändert auf dem ihm komplementären Purpur; auf den gegen das

Ende des Spektrums gelegenen Farben gewinnt es einen gelblichen, auf den gegen den Anfang gelegenen einen bläulichen Ton. Achtet man gleichzeitig auf den Farbenton des Grundes, so bemerkt man, daß auch dieser, und zwar in entgegengesetztem Sinne verändert erscheint. Während also z. B. Rot auf gelbem Hintergrund einen bläulichen Schein annimmt, erhält der gelbe Hintergrund selbst einen grünlichen. Jede induzierende Farbe wird somit durch diejenige, auf die sie induzierend wirkt, zugleich selbst induziert. Wir können uns diesen wechselseitigen Einfluß beim Kontrast veranschaulichen, wenn wir zwei Farbenkreise konzentrisch zueinander konstruieren und den einen um 180° gegen den andern gedreht denken, so daß jeder Farbe am einen Kreise die Komplementärfarbe am andern entspricht (Fig. 212)[1]. Es geben dann die zusammentreffenden Segmente des äußeren und inneren Kreises immer die Richtung der Veränderung an. Wählen wir z. B. Grün auf rotem Grunde, so bedeutet dies, da Grün mit Purpur, Rot mit Blaugrün zusammenfällt, daß das Grün so modifiziert ist, als wenn ihm Blaugrün, das Rot so, als wenn ihm Purpur beigemischt wäre. Bei Grün auf gelbem Grunde wird sich dagegen das Grün in der Richtung des Indigoblau, das Gelb wieder in der des Purpur, als etwa in ein rötliches Orange verändern.



Fig. 212. Kontrastkreise.

Wählen wir endlich aber Grün auf purpurrotem Grunde, so bezeichnet das Zusammentreffen beider, daß sie in ihrem Farbenton unverändert bestehen bleiben. Als allgemeine Regel für den Farbenwechsel durch Kontrast gilt also der Satz, daß jede Farbe im Sinne ihrer Komplementärfarbe verändernd wirkt. Dies ist der Grund, weshalb man die Bezeichnungen Komplementärfarben und Kontrastfarben in übereinstimmender Bedeutung anzuwenden pflegt.

Der Sättigungs- und der Helligkeitskontrast der Farben sind wegen des oben (S. 166) besprochenen Einflusses der Helligkeit auf die Sättigung nicht voneinander zu trennen. Insbesondere ist es unmöglich die Helligkeit zu ändern, ohne daß zugleich die Sättigung geändert würde. Zunächst scheint aber für diese Kontrasteinflüsse die Regel zu gelten, daß eine Farbe durch Kontrast relativ mehr verändert wird, wenn ihre Sättigung eine relativ geringe ist. Hiervon kann man sich bei den oben erwähnten

[1] A. Kollett, Wiener Sitzungsberichte. Math.-naturw. Kl., 3. Abt. März 1867.

Versuchen über Helligkeits- und Farbeninduktion bei gleichen Objekten auf verschiedenem Grund leicht durch einen von H. MEYER[1] angegebenen Versuch überzeugen. Legt man auf eine irgendwie gefärbte Unterlage ein kleineres anders gefärbtes oder graues Papierschnitzel, so erscheint dieses in der Regel zunächst wenig durch den Kontrast verändert. Der Kontrast nimmt aber bedeutend zu, wenn man ein durchscheinendes weißes Seidenpapier oder eine Mattglasplatte über das Ganze deckt. Auf solche Weise bedeckt, erscheint z. B. das graue Kreuz in Fig. 211 auf dem schwarzen Grund fast vollkommen weiß, auf dem weißen dunkelgrau, beinahe schwarz. Ein rotes Objekt auf indigblauem Grunde hat jetzt nicht mehr bloß einen gelblichen Schimmer, sondern es sieht vollständig gelb, der indigblaue Grund aber blaugrün aus; und während man bei den gesättigten Farben trotz des Kontrastes ziemlich leicht erkennt, daß die einzelnen aufgelegten Stücke aus demselben Papier geschnitten sind, ist dies bei den weißlichen Farben nicht mehr möglich, sondern man hält die Farben für durchaus verschiedene. Man pflegt den so unter Zuhilfenahme bedeckender Medien entstehenden Kontrast als Florkontrast zu bezeichnen. Da das Farblose als der geringste Sättigungsgrad einer jeden Farbe betrachtet werden kann, so sind übrigens bei solchen Versuchen farblose induzierte Objekte am günstigsten, wenn man möglichst große Farbenkontraste hervorbringen will. Ein farbloses Objekt von gleicher Helligkeit mit einer induzierenden Farbe wirkt selbst nicht induzierend auf diese zurück; es selbst empfängt aber von ihr die reinste induzierende Farbenwirkung, indem es nur in der Kontrastfarbe, ohne jede Beimengung einer andern Farbe, gesehen wird. Grau auf rotem Grunde sieht also nun rein grün, Grau auf grünem Grunde rein rot aus, usw.

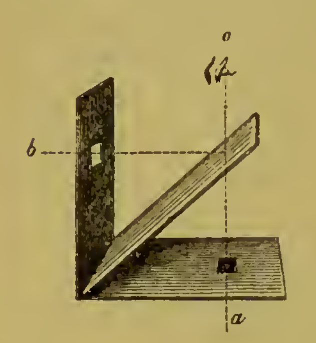


Fig. 213. Versuch von RAGONI SCINA.

Ähnlich starke Kontrastwirkungen wie bei MEYERS Versuch erhält man, wenn durch Spiegelung die Helligkeit der kontrastierenden Objekte ausgeglichen und die Sättigung der Farbe vermindert wird, wie in dem Versuch von RAGONI SCINA (Fig. 213)[2]. Man nimmt eine horizontale und vertikale weiße Papierfläche, zu denen eine farbige Glasplatte unter einem Winkel geneigt ist; auf der horizontalen bringt man ein schwarzes Papierstückchen *a* an. Infolgedessen empfängt das Auge *o* in der Richtung *a o* fast nur farbloses Licht, das an der Oberfläche der farbigen

[1] H. MEYER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 95, 1855, S. 170.
[2] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 557.

Glasplatte reflektiert wird, überall sonst zugleich gebrochenes, das durch die Glasplatte stark gefärbt ist. Es erscheint dann der Fleck *a* deutlich in der Komplementärfarbe des Glases. Dieser Versuch läßt sich auch in folgender Weise modifizieren. Man nimmt die vertikale Papierfläche nicht weiß sondern schwarz, klebt aber bei *b* ein weißes Papierstückchen von gleicher Größe wie *a* auf, dessen Reflexbild mit *a* zusammenfällt. Jetzt erscheint die Farbe der Glasplatte weit gesättigter als im vorigen Fall, weil nur noch das von ihr durchgelassene Licht ins Auge gelangt: wieder erscheint die Stelle *a* deutlich in der Komplementärfarbe. Aber es tritt nun gleichzeitig zwischen dem hellen Spiegelbild und dem dunkelfarbigen Grunde ein Helligkeitskontrast auf, und das Spiegelbild des weißen Papierstückchens erscheint daher heller, d. h. minder gesättigt, als wenn man auch für den Reflex eine gleichförmig weiße Farbe nimmt, durch welche die Farbe der Glasplatte an Sättigung vermindert wird.

Das vorzüglichste Mittel zur Hervorbringung der Kontrasterscheinungen bietet endlich der Farbenkreisel. Gibt man der Scheibe desselben mehrere farbige Sektoren, deren jeder an einer bestimmten Stelle durch ein schwarzes Zwischenstück unterbrochen ist, wie in Fig. 214, wo die farbigen Teile der Sektoren durch Schraffierung angedeutet sind, so erscheint bei rascher Rotation die ganze Scheibe in einem weißlichen Farbenton, an der Stelle des Zwischenstücks erscheint aber ein Ring in der Komplementärfarbe. Nun läßt sich leicht die Farbe des Grundes an Sättigung vermehren oder vermindern, indem man die Breite der Sektoren größer oder kleiner wählt, und ebenso die Helligkeit des Ringes je nach der Breite, die man dem schwarzen Zwischenstück gibt. Man findet dann auch hier wieder, daß der Farbenkontrast unter sonst gleichen Bedingungen am stärksten ist, wenn beide Flächen von gleicher Helligkeit sind, und daß er mit Zunahme des Helligkeitsunterschiedes immer mehr abnimmt: ein dunkler Farbenton verlangt also eine schwarzgraue, ein heller eine hellgraue Kontrastfläche zur Erzielung günstiger Wirkungen[1].

Auf ähnlichen Bedingungen wie die Kontrastwirkungen rotierender Scheiben beruhen wohl die Erscheinungen der farbigen Schatten. Dahin gehört z. B. die bekannte Erscheinung, daß ein Schatten in der rötlichen Beleuchtung der Abendsonne oder des Lampenlichtes grünblau gefärbt ist. Auch hier ist der Schatten selbst farblos grau, und er wird daher durch die verbreitete farbige Umgebung stark im komplementären Sinne induziert. In allen möglichen Kontrastfarben lassen sich solche Schatten hervorbringen, wenn man Sonnen- oder Lampenlicht durch

---

[1] Schmerler, Philos. Stud. Bd. 1, 1883, S. 379. Kirschmann, ebend. Bd. 6, 1891 S. 462 ff.

gefärbte Gläser treten läßt und in dieser farbigen Beleuchtung schattengebende Objekte aufstellt[1].

Die auffallende Verstärkung der Kontrasterscheinungen bei diesen Versuchen legt die Vermutung nahe, daß hier zu den regelmäßig vorhandenen Kontaktwirkungen einer Netzhauterregung auf ihre Umgebung noch besondere Momente hinzutreten. Nun ist es eine allen diesen Arten der Kontrastverstärkung gemeinsame Eigentümlichkeit, daß bei ihnen Helligkeiten und Farben, sowohl induzierende wie induzierte, in nur mäßiger Stärke einwirken. Da in dieser Beziehung die übrigen Fälle relativ großer Kontraste mit dem MEYERschen Versuch übereinstimmen, so werden wir demnach von vornherein auch solche Erscheinungen wie die Kontraste an rotierenden Scheiben und an farbigen Schatten in einem weiteren Sinne

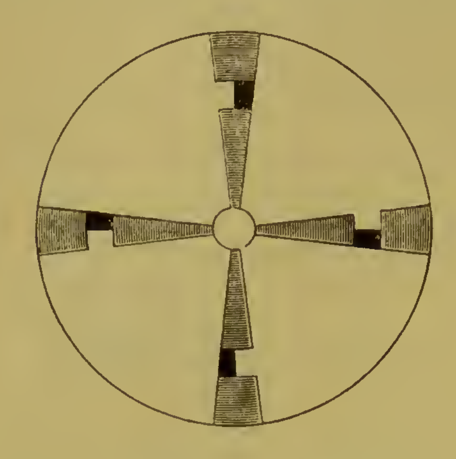


Fig. 214. Farbenkreisel zu Kontrastversuchen.

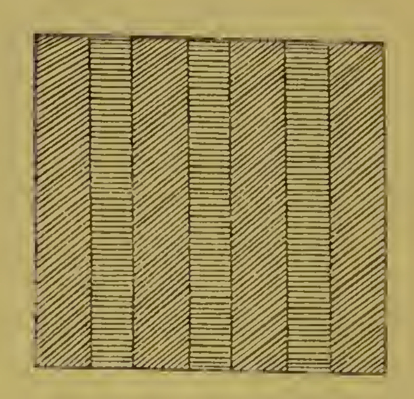


Fig. 215. Ruhendes Kontrastobjekt zur Vergleichung mit dem Farbenkreisel.

dem Gebiet des Florkontrastes zuzählen dürfen (S. 222). Dann aber erhebt sich die Frage, ob bei diesen Unterschieden des Flor- und des sonstigen Kontrastes, welchen letzteren wir der Kürze wegen Kontaktkontrast nennen wollen[2], nicht noch andere Momente mitwirken. Daß dies wirklich so ist, lehren nun vor allem die Versuche mit den rotierenden Scheiben, wenn man die an ihnen erzeugten Kontraste mit denen ruhender Objekte von ähnlicher Färbung und Helligkeit vergleicht. Überzeugend ist besonders der folgende, von J. KÖHLER ausgeführte Versuch. Man stelle ein Objekt mit abwechselnden grauen und farbigen Streifen her (Fig. 215), die sorgfältig und möglichst gleichmäßig mit Pigmentfarben ausgeführt sind, und wo die grauen Streifen (in der Figur durch horizontale

[1] FECHNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 50, S. 438.

[2] Den zuweilen zur Unterscheidung gebrauchten Ausdruck »gewöhnlicher Kontrast« möchte ich lieber vermeiden, weil er die Meinung erwecken könnte, er sei der häufigere, was, wie sich sogleich zeigen wird, schwerlich zutrifft.

Schraffierung angedeutet) in ihrer Helligkeit genau dem Grau des mittleren Rings einer rotierenden Kontrastscheibe und ebenso die farbigen (in der Figur schräg schraffiert) in Farbenton und Sättigung den rotierenden farbigen Ringen derselben Scheibe gleichen. Stellt man ein solches Objekt neben die rotierende Scheibe, so ist der Unterschied beider Kontrastwirkungen im höchsten Grade auffallend: während die Scheibe einen intensiv gefärbten Kontrastring zeigt, bemerkt man an den farbigen Streifen nur einen schwachen Anflug der Kontrastfarbe. Diese wird erst etwas intensiver, wenn man sich in größere Entfernung begibt, wo die Konturen der Streifen nicht mehr scharf gesehen werden, oder wenn man das Objekt durch eine die scharfe Bildentwerfung hindernde Konvexlinse betrachtet. Demnach bildet offenbar die Schärfe der Begrenzungslinien eine wichtige Bedingung für den Grad der Kontrastwirkung; und als »Florkontrast« im weiteren Sinne werden wir jede Kontrastwirkung betrachten dürfen, bei welcher der Mangel der scharfen Begrenzung eine Rolle spielt, wobei vorläufig dahingestellt bleiben mag, ob der außerdem bestehende fördernde Einfluß gewisser mittlerer Werte der Helligkeit und Sättigung auf den Kontrast erst in Verbindung mit diesem Moment oder eventuell auch für sich allein schon zur Geltung kommt. In der Tat ist ersichtlich, daß in dieser Beziehung, in der Beseitigung scharfer Begrenzungslinien zwischen den einander induzierenden Flächen, alle oben beschriebenen Fälle übereinstimmen. Sind auch an den rotierenden Scheiben bei exakter Bewegung der Apparate die Konturen schärfer als an den farbigen Schatten und den durchscheinenden Papieren, so führt doch stets die Rotation eine gewisse Unsicherheit der Begrenzung mit sich. Auch läßt sich dieser Einfluß der Konturen direkt experimentell erweisen, da sich der Kontrast beträchtlich verstärkt, wenn man durch eine vorgehaltene Linse die genaue Akkommodation auf die Grenzlinien aufhebt. Anderseits vermindert er sich sehr, wenn man die Kontrastkreise der Scheibe durch schwarze Linien gegeneinander abgrenzt. Einen ähnlichen stark kontrastvermindernden Einfluß hat die Umgrenzung bei dem MEYERschen Versuch, wenn man auf dem bedeckenden Florpapier Konturen zieht, die den Grenzen des unterliegenden induzierten Objekts folgen.



Fig. 216. Scheibe zur Erzeugung von Randkontrast.

Diese Einflüsse der Begrenzung bringen nun den Florkontrast in nahe Beziehung zu andern Erscheinungen, die man als Randkontrast

zu bezeichnen pflegt. Sobald nämlich Objekte bei unmittelbarer Berührung stark induzierend aufeinander wirken, so bemerkt man in der Regel, daß die sich berührenden Ränder der Objekte weit stärker verändert sind, als die entfernteren Teile der Kontrastflächen. Am schönsten lassen sich diese Erscheinungen des Randkontrastes mittels der rotierenden Scheiben herstellen. Versieht man eine weiße Scheibe mit schwarzen Sektoren, deren Breite sich, wie in Fig. 216, von innen nach außen vermindert, so müßten, wenn kein Kontrast stattfände, bei der Rotation graue Ringe erscheinen, deren Helligkeit von innen nach außen abnähme, aber innerhalb eines jeden Abschnitts konstant bliebe. In Wirklichkeit erscheint jeder Ring nach innen, wo der nächste dunklere angrenzt, heller, fast weiß, nach außen, wo ein hellerer angrenzt, dunkler. Nimmt man eine farbige Scheibe wie Fig. 214, wählt aber die beiden an die schwarzen Mittelstücke anstoßenden Sektorenabschnitte von verschiedener Farbe, z. B. die inneren rot, die äußeren gelb, so erscheint bei der Drehung auch der mittlere graue Ring in verschiedenen Kontrastfarben, nach innen grünblau, nach außen violett. Dieselbe Erscheinung läßt sich noch in der mannigfachsten Weise variieren: immer ist der Kontrast da am deutlichsten, wo die Helligkeit oder der Farbenton rasch sich ändert. Kontrastwirkungen in entgegengesetztem Sinne lassen sich daher nebeneinander hervorbringen, wenn man Helligkeit oder Farbenton in nahen Abständen in entgegengesetztem Sinne verändert. Auch an Nachbildern sind, wie HERING gezeigt hat, solche Randwirkungen zu beobachten[1]. So besteht das negative Nachbild des in Fig. 217 dargestellten Quadrates aus einem weißen Rechteck rechts und einem schwarzen links mit einer durch den Randkontrast erzeugten Grenzzone von verstärktem Helligkeitsunterschied. Dabei erscheint nun das Nachbild des schwarzen Querstreifens von intensiverer Helligkeit, indem hier der Kontrast gegen zwei begrenzende dunkle Nachbilder zur Geltung kommt. Verdunkelt man sodann diese Nachbilder durch Projektion auf einen schwarzen Hintergrund, so wird der weiße Nachbildstreifen noch mehr in seiner Helligkeit gehoben. Alle diese Versuche zeigen, daß die Stärke des Kontrastes von der räumlichen Nähe der kontrastierenden Eindrücke abhängt. Sie lassen aber außerdem vermuten,



Fig. 217. Objekt für kontrastierende Nachbilder.

[1] HERING, Zur Lehre vom Lichtsinn. 2.—3. Mitteilung, 1873. Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn (aus Teil I des Handbuchs der Augenheilkunde), 1907, S. 115 ff. Vgl. außerdem das Literaturverzeichnis bei TSCHERMAK, Über Kontrast und Irradiation in den Ergebnissen der Physiologie von ASHER and SPIRO, II, 1903, S. 729 ff.

daß speziell der Randkontrast eine Erscheinung ist, bei der sich, wenn die Lichtreize lange genug einwirken, der simultane Kontrast und der sukzessive oder die Nachbildwirkung verbinden oder verstärken können. Indem nämlich in solchem Falle das Auge schwache Hin- und Herbewegungen ausführt, kommt das komplementäre Nachbild des zuerst fixierten Objektes abwechselnd mit der ihm gleichen Farbe des induzierenden zur Deckung. Damit stimmt überein, daß der Randkontrast, namentlich bei längerer Fixation, eine unruhige, abwechselnd zu- und abnehmende Erscheinung ist, und daß er sich dagegen bei möglichst starrer Fixation bedeutend einschränkt.

Da der Florkontrast und der Randkontrast Erscheinungen sind, die beide in einer Verstärkung der Kontrastwirkungen bestehen, so hat man wohl vermutet, beide seien miteinander identisch, und die weitere Ausbreitung des Florkontrastes beruhe nur auf Nachbildern, die mit Bewegungen des Auges wandern. Nun wird allerdings jene verschwimmende Beschaffenheit der Begrenzungen, die sich als ein Hauptfaktor des Florkontrastes herausstellt, durch den Randkontrast unterstützt. Dennoch bestätigt sich jene Vermutung nicht. Denn die Wirkungen des Florkontrastes sind sehr deutlich auch dann wahrzunehmen, wenn ein Randkontrast kaum zu bemerken ist; und sie erstrecken sich selbst bei starrer Fixation und kurz dauernder Einwirkung der Reize in so weite Entfernungen über die Begrenzungslinien der Kontrastobjekte hinaus, daß dabei an Nachbildwirkungen gar nicht zu denken ist, die ohnehin bei der geringen Intensität und der kurzen Dauer der Reize kaum merklich sein können. Endlich aber stehen Randkontrast und Florkontrast in bezug auf die für sie günstigsten Lichtstärken unter entgegengesetzten Bedingungen. Während der Florkontrast bei mittleren Sättigungs- und Helligkeitsstufen sein Maximum erreicht, scheint der Randkontrast mit der Lichtintensität fortwährend zuzunehmen. Beide Erscheinungen greifen also zwar vielfach ineinander ein, sind aber selbst offenbar auf verschiedene Ursachen zurückzuführen.

Für eine Untersuchung der quantitativen Verhältnisse des Kontrastes ist es nun unerläßlich, die Bedingungen der Erscheinungen, die wir mit den Namen des »Kontaktkontrastes«, des »Florkontrastes« und des »Randkontrastes« bezeichnet haben, sorgfältig zu sondern. Für den Randkontrast besteht das Erfordernis hierzu darin, daß er durch starre Fixation so viel wie möglich eingeengt, und durch kurz dauernde Einwirkung der Reize von der Beimengung komplementärer Nachbilder freigehalten wird. Für die Beziehungen von Kontakt- und Florkontrast dagegen kommt in Betracht, daß der erstere, wenn Flor- und Randkontrast

ganz ausgeschlossen sind, nur sehr schwache Wirkungen zeigt, daher von einer Abstufung und Messung der Erscheinungen hier überhaupt nicht die Rede sein kann. Anderseits ist für messende Versuche die Anwendung der rotierenden Scheiben eine allen andern Verfahrungsweisen weit überlegene Methode, wie sie sich uns denn als solche schon bei der quantitativen Untersuchung der Nachbildphänomene bewährt hat (S. 208). Nun gehören aber schon die Kontraste der rotierenden Scheiben ihrem wesentlichen Charakter nach zum Gebiet des Florkontrastes. Exakte Hilfsmittel, den Kontaktkontrast ohne alle begleitende Florwirkungen messend zu verfolgen, besitzen wir also nicht. Demnach bleibt zur Untersuchung der besonderen Wirkungen des Florkontrastes nur ein approximatives Verfahren möglich. Betrachtet man nämlich den unter gewöhnlichen Bedingungen und bei schärfster Fixation an rotierenden Scheiben wahrzunehmenden Kontrast als einen dem Kontaktkontrast sich nähernden Grenzfall, so werden die besonderen Bedingungen des Florkontrastes quantitativ verfolgt werden können, wenn man die für ihn qualitativ nachgewiesenen begünstigenden Bedingungen verstärkt, also namentlich die Sättigungsgrade und die Konturenverhältnisse variiert. Dabei muß in allen Fällen die induzierende Fläche zureichend groß sein, um eine möglichst deutliche Wirkung zu erzielen, da, wie KIRSCHMANN durch messende Beobachtungen feststellte, beim Helligkeits- wie beim Farbenkontrast die Stärke des Kontrastes proportional dem Durchmesser des induzierenden Objektes zunimmt[1]. Auf der andern Seite muß aber auch die Größe der induzierten Fläche hinreichend groß sein, damit sich der Randkontrast nur über einen relativ kleinen Teil derselben ausdehnen kann. In Anbetracht der oben berührten Wechselwirkungen, in denen Helligkeits- und Farbenkontrast zueinander stehen, tritt ferner jede dieser Kontrastformen dann am deutlichsten hervor, wenn gleichzeitig die andere ausgeschlossen ist. Demnach sind solche Bestimmungen von vornherein um so mehr auf die Untersuchung des reinen Helligkeits- oder Farbenkontrastes einzuschränken, als sie nur in diesen Fällen zureichend einfach sind, um die bestehenden Gesetzmäßigkeiten deutlich hervortreten zu lassen. Dabei kommen nun diese hauptsächlich in zwei Momenten zum Ausdruck: erstens in den Veränderungen, die der Kontrast bei gleich bleibender Beschaffenheit des induzierten Feldes mit der Variation der Helligkeit oder des Farbengrades der induzierenden Fläche erfährt; und zweitens in den für den Eintritt des Kontrastmaximums geltenden Bedingungen.

Das einfachste Verfahren, um über den Gang des reinen Hellig-

---

[1] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 457.

keitskontrastes bei veränderlicher Lichtstärke der Reize Aufschluß zu gewinnen, besteht hiernach darin, daß man an einer rotierenden Scheibe, die in zwei konzentrische Ringe mit verschieden großen Sektoren geteilt ist, wie die oben zur Messung von Nachbildwirkungen angewandte Fig. 206 *A* (S. 208), durch die wechselseitige Induktion des äußeren dunkleren und des inneren helleren Ringes Kontrast hervorbringt. Dann sieht man zu, wie sich dieser Kontrast ändert, wenn man die Scheibe durch verdunkelnde graue Gläser betrachtet. Dabei beobachtet man nun, daß innerhalb ziemlich weiter Grenzen bei verschiedener Abstufung der Verdunkelung durch wechselnde graue Gläser das Verhältnis der Helligkeiten beider Ringe, also die Größe der wechselseitigen Kontrastwirkung konstant bleibt[1]. Genauere messende Versuche lassen sich sodann mittels der gleichen Kontrastscheibe Fig. 206 *A* ausführen, wenn man eine in ihrer Nähe aufgestellte, aber der induzierenden Wirkung doch zureichend entzogene Vergleichsscheibe mit während der Rotation verstellbaren schwarzen und weißen Sektoren (Bd. 1, Fig. 158, S. 664) aufstellt, und nun, um Nachbildwirkungen zu vermeiden, bei jedesmal möglichst momentaner Auffassung in einer Reihe aufeinander folgender Beobachtungen die Sektoren dieser Vergleichsscheibe zuerst allmählich bis zur Gleichheit mit dem einen, z. B. dem inneren hell induzierten, und hierauf in einer zweiten Versuchsreihe bis zur Gleichheit mit dem dunkel induzierten äußeren Kontrastring einstellt. Hierbei muß zugleich der Hintergrund der Versuchsanordnung der Helligkeit der äußeren Scheibenringe möglichst entsprechen, was sich am sichersten durch große rotierende Scheiben erreichen läßt, die hinter den kleineren Versuchsscheiben aufgestellt werden (Fig. 156, Bd. 1, S. 663). Bezeichnen wir die durch die Sektorenbreiten zu messenden wirklichen Helligkeiten der beiden Kontrastscheiben mit h und d, und die an der variabeln, der Induktion entzogenen Vergleichsscheibe gemessenen beiden Vergleichshelligkeiten mit h' und d', so sind $h' - h$ und $d - d'$ die wiederum in Sektorenbreiten bestimmten Kontrastwirkungen, die erste Differenz die der Hellinduktion des helleren, die zweite die der Dunkelinduktion des dunkleren der beiden Ringe. Bleibt dann in weiteren Versuchsreihen der eine der beiden Kontrastringe, z. B. der äußere, konstant, während die Helligkeit des inneren verändert wird, so läßt sich nun auch dasjenige Verhältnis ermitteln, bei welchem die an der Einstellung der Vergleichsscheibe gemessene Stärke des Kontrastes ein Maximum ist. Da es sich aber in diesen Versuchen jedesmal um zwei Bestimmungen, die des Hell- und die des Dunkelkontrastes, handelt, so werden sich als rela-

[1] Diese Beobachtung, die den zur Messung der Unterschiedsempfindlichkeit angewandten Methoden nachgebildet ist, war wohl der erste Versuch einer annähernden quantitativen Kontrastmessung. Vgl. die 3. Aufl. dieses Werkes, Bd. 1, S. 499.

tive Kontrastgrößen die Quotienten aus diesen beiden absoluten Kontrasten $h' - h$ und $d - d'$ in die Helligkeit desjenigen Feldes betrachten lassen, das jedesmal als das induzierende gilt, also $\frac{h' - h}{d}$ und $\frac{d - d'}{h}$. Nach diesem Prinzip sind, mit verschiedenen Modifikationen in der Anwendung, von ALFR. LEHMANN, H. NEIGLICK und A. KIRSCHMANN[1] Versuche ausgeführt worden, die sämtlich zu dem Resultate führten, daß die absolute Größe der zur Herstellung eines Kontrastmaximums erforderlichen Helligkeitsdifferenzen $h' - h$, $d - d'$ mit der Intensität des induzierenden Lichtes wächst, daß aber die relative Größe dieser Werte innerhalb ziemlich weiter Grenzen konstant bleibt[2]. Dies ist augenscheinlich ein Resultat, das mit der oben erwähnten Beobachtung über die Konstanz des Kontrastes bei Betrachtung der Objekte durch graue Gläser übereinstimmt und gleich dieser beweist, daß für den Helligkeitskontrast annähernd das WEBERsche Gesetz zutrifft, ein Ergebnis, mit welchem auch die Versuche von HESS und PRETORI, die bei künstlicher Beleuchtung im Dunkelraum ausgeführt wurden, im wesentlichen übereinstimmen[3].

Gegenüber dem Helligkeits- zerfällt nun der Farbenkontrast, auch wenn man ihn nur in der Form des reinen Farbenkontrastes, d. h. unter Beseitigung gleichzeitiger Helligkeitsunterschiede untersucht, in eine größere Zahl von Erscheinungen, da hier jede einzelne Farbe eine selbständige Berücksichtigung erheischt. Gleichwohl vereinfacht sich die Untersuchung in diesem Fall dadurch, daß, sobald ein farbloses induzierendes Feld gewählt wird, von der beim Helligkeitskontrast nie zu umgehenden Bedingung der wechselseitigen Induktion abstrahiert werden kann. Denn das Grau übt ja seinerseits keine induzierende Farbenwirkung aus, so daß, wenn die Helligkeiten der Kontrastobjekte gleich sind, die Wirkung eine einseitige bleibt: die farbige Fläche ist dann die induzierende, die farblose die induzierte, und die Stärke der Induktion wird einfach durch die Intensität der Kontrastfärbung gemessen, die auf dieser eintritt. Darum kann hier, mit den durch die veränderte Aufgabe gebotenen Modifikationen, ein ähnliches Verfahren eingeschlagen werden, wie bei der Messung der Nachbildwirkungen, indem man sich einer Scheibenkombination wie der in Fig. 206 *B* (S. 208) dargestellten bedient. Auf dem inneren, induzieren-

---

1 ALFR. LEHMANN, Philos. Stud. Bd. 3, 1886, S. 516. H. NEIGLICK, ebend. Bd. 4, 1888, S. 28. KIRSCHMANN, ebend. Bd. 6, 1891, S. 457 ff.

2 In LEHMANNS Versuchen zeigte sich im allgemeinen eine obere und eine untere Abweichung, analog wie bei dem WEBERschen Gesetz für die Unterschiedsschwelle. In NEIGLICKS Beobachtungen traten regelmäßige periodische Abweichungen hervor, die wohl noch der näheren Untersuchung bedürfen. Vgl. über dieselben meine Bemerkungen in Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 112 ff.

3 HESS und PRETORI, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 40, 4, 1894, S. 1 ff.

den Ring N finden sich Sektoren einer bestimmten Farbe mit Weiß (oder bei Episkotisterversuchen und durchfallendem Licht mit undurchsichtigen Sektoren) abwechselnd. Der äußere Ring V besteht aus Sektoren von gleicher Helligkeit, die aus Kombinationen der Farbe in N mit ihrer Komplementärfarbe so zusammengesetzt sind, daß sich beide zu Grau aufheben. Das Verhältnis dieser Sektoren wird nun bei den einzelnen momentanen Beobachtungen allmählich so lange abgestuft, bis der Kontrast verschwindet. Statt dessen kann man aber auch hier wieder, ähnlich wie bei den Versuchen über den Helligkeitskontrast, eine besondere, räumlich getrennte Vergleichsscheibe anwenden, deren anfangs sich zu Weiß ergänzende Sektoren in den einzelnen Beobachtungsmomenten so lange verändert werden, bis sie eine der induzierten Farbe des diesmal konstant erhaltenen Ringes V gleiche Färbung zeigen. Ist z. B. die induzierende Farbe rot, so erscheint auf V Grün als Kontrastfarbe. Bei der ersten Methode wird dann V durch Vergrößerung der roten Sektoren so lange variiert, bis es grau erscheint. Bei der zweiten Methode wird die selbständige Vergleichsscheibe durch die Vergrößerung ihrer grünen Sektoren so lange variiert, bis sie der induzierten Scheibe V gleich aussieht. In beiden Fällen ist es wieder nützlich, wenn die Meßscheibe einem Rotationsapparat mit während der Rotation verstellbaren Sektoren angehört[1].

Die auf solche Weise ausgeführten Beobachtungen ergeben nun, daß sich die verschiedenen Farben hinsichtlich der Abhängigkeit der Kontrastwirkung von den Sättigungsgraden durchaus gleichförmig verhalten. Bis zu einem bestimmten, bei Rot und Orange verhältnismäßig kleinen, bei Grün und namentlich Blau erheblich höheren Farbengrad nimmt die durch die kompensierende Farbe meßbare Kontrastgröße zuerst schnell und dann langsamer zu, um hierauf nahezu konstant zu bleiben. Sobald jener relative Maximalwert der induzierenden Farbe erreicht ist, fordert also eine bestimmte Zunahme des induzierenden Feldes an Sättigung fortan die gleiche Menge der den Kontrast wieder aufhebenden Farbe im induzierten Felde. Die in Fig. 218 gezeichnete Kurve veranschaulicht diese Verhältnisse. Die Abszissen bezeichnen zunehmende induzierende Farbengrade in Sektorenbreiten gemessen, die Ordinaten in denselben Maßen die den Kontrast kompensierenden Farbengrade im induzierten Felde, wobei jedesmal ein Sektor von 20° als Einheit angenommen ist. Die Kurve, die sich auf Karminrot als induzierende Farbe bezieht, steigt im Anfang rasch an,

[1] Das Prinzip dieser Messung ist zuerst von A. KIRSCHMANN und später in ganz übereinstimmender Weise von PRETORI und SACHS angewandt worden. (KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 462. PRETORI und SACHS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 60, 1895, S. 71.) J. KÖHLER, Archiv für die ges. Psychologie, Bd. 2, 1904, S. 423 ff.

um dann fast vollkommen parallel der Abszissenlinie weiterzugehen. Die andern Farben liefern im wesentlichen ähnliche Ergebnisse. Nur zeigt sich, daß die absolute Größe der Kontrastwirkung mit dem Übergang zu den brechbareren Farben variiert, und daß jenes Maximum, von welchem an die absolute Kontrastgröße konstant bleibt, erst später, bei höheren Sättigungsgraden, eintritt. Bezeichnen wir die einem bestimmten Sättigungsgrad F der Induzierenden entsprechende Kontrastwirkung mit f, so läßt sich demnach dieses f durch denjenigen Zusatz der Induktionsfarbe zum induzierten Felde bestimmen, der eben zureicht, um den Kontrast aufzuheben. So definiert ist dann f ein direktes Maß der absoluten, und der Quotient $\frac{f}{F}$ ein ebensolches der relativen Kontrastwirkung. Die durch die Kurve dargestellte Gesetzmäßigkeit drückt somit aus, daß die absolute Kontrastwirkung f nach ihrem ersten Ansteigen namentlich bei den Anfangsfarben des Spektrums fast vollkommen konstant bleibt, indes die

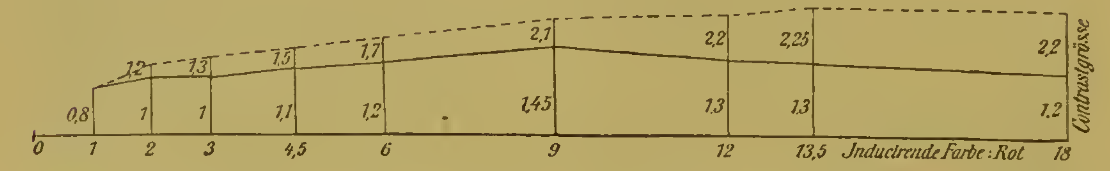


Fig. 218. Abhängigkeit der Kontrastgröße von der Sättigung der induzierenden Farbe (Rot).

relative $\frac{f}{F}$ von jenem Maximum an mit wachsender Sättigung immer mehr abnimmt. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem oben für den Helligkeitskontrast gewonnenen, so fällt in die Augen, daß Helligkeits- und Farbenkontrast völlig abweichenden Gesetzen folgen. Beim Helligkeitskontrast bleibt in weitem Umfang die relative, beim Farbenkontrast bleibt, nachdem ein bestimmter, besonders beim Rot sehr niedrig liegender Maximalwert erreicht ist, die absolute Größe des Kontrastes konstant. Wie die Helligkeit unmittelbar nicht bloß als eine Qualitäts-, sondern auch als eine Intensitätsänderung empfunden wird, so ordnet sich demnach der Helligkeitskontrast der allgemeinen Gesetzmäßigkeit unter, die für unsere Auffassung der Intensitätsverhältnisse überhaupt gilt. Der Farbenkontrast dagegen hat, abgesehen von den zu seiner Entstehung erforderlichen Grenzbedingungen, innerhalb mehr oder minder weiter Grenzen für verschiedene Farbengrade einen annähernd konstanten absoluten Wert. Die Zunahme der Sättigung gibt sich also auch in dieser Wirkung nicht als eine Intensitäts-, sondern als eine reine Qualitätsänderung zu erkennen. Zugleich scheinen sich diese Verhältnisse nicht wesentlich zu ändern, wenn man den Kontrast mit geringer Florwirkung

in den eigentlichen Florkontrast überführt, wie dies an den rotierenden Scheiben, wie oben erwähnt, mittels der Beobachtung durch eine die scharfe Akkommodation aufhebende Linse geschieht. Wählt man jeden der Kontrastringe 4—5 cm groß, und dagegen die Linse so, daß der Irradiationsrand etwa 4 mm nicht überschreitet, so kann bei einer Beobachtung von 1—2 Sekunden wiederum eine direkte Ausbreitung der Irradiationszone über den Kontrastring nicht in Betracht kommen. Demnach kann auch hier nur eine indirekte Wirkung der Zerstreuungszone der eintretenden Veränderung zugrunde liegen. Die in Fig. 218 mit unterbrochenen Linien gezeichnete Kurve entspricht den unter diesen Bedingungen gewonnenen Werten des Florkontrastes, auf die gleichen induzierenden Farbengrade bezogen, wie der in der ausgezogenen dargestellte gewöhnliche Scheibenkontrast. Der Unterschied zwischen beiden besteht darin, daß, nachdem der Kontrast bei demselben Punkte und annähernd im gleichen Grade merklich geworden ist, sofort der Florkontrast etwas rascher ansteigt, und sich dann ebenfalls auf gleicher Höhe hält, so daß die ihn repräsentierende Linie wiederum annähernd parallel der Abszissenlinie verläuft. Demnach ist die absolute Größe des Kontrastes bei der Florwirkung bei allen Farbengraden absolut genommen größer, besonders aber übersteigt der relative Wert $\frac{f}{F}$ in einem dem Anfang naheliegenden Teil der Kurve weit die gewöhnliche Kontrastwirkung. Hierin findet augenscheinlich die schon bei den qualitativen Beobachtungen sich aufdrängende Begünstigung der Florwirkung ihre Bestätigung. Die Frage, worin diese Unterschiede begründet sind, wird sich aber nur im Zusammenhang mit der Untersuchung der allgemeinen Ursachen der Kontrasterscheinungen erledigen lassen. (Vgl. unten k.)

Für die Untersuchung und Unterscheidung der verschiedenen Kontrastformen ist die Ergänzung der qualitativen Beobachtungen der Kontrastphänomene durch ihre quantitative Verfolgung unter verschiedenen Bedingungen ein unbedingtes Erfordernis, wie schon die Tatsache beweist, daß in der Regel auf Grund jener qualitativen Beobachtungen der Kontaktkontrast mit dem Florkontrast und manchmal mit beiden sogar der Randkontrast, trotz der wesentlich abweichenden Gesetzmäßigkeit dieser Erscheinungen, zusammengeworfen, und ebenso von vornherein der Farben- als ein mit dem Helligkeitskontrast identisches Phänomen betrachtet wurde. Nun ist es allerdings ein Übelstand, daß wir außer den rotierenden Scheiben, deren Erscheinungen selbst schon in das Gebiet des Florkontrastes hinüberreichen, zweckmäßige Hilfsmittel zur Messung der Kontraststärken nicht besitzen. Es bleibt daher nur übrig, den Unterschieden zwischen Kontakt- und Florkontrast in der Weise nachzugehen, daß man, wie oben geschildert, Versuchsbedingungen herstellt, bei denen die Florwirkung bald möglichst reduziert, bald durch die Variation der Kontureneinflüsse beliebig gesteigert wird. Die unter diesen verschiedenen

Bedingungen anzuwendende Versuchsanordnung ist in Fig. 219 schematisch dargestellt. Vor einem Hintergrund *H*, der in einem den Helligkeitskontrast mit den eigentlichen Kontrastobjekten möglichst ausschließenden Grau besteht, das eventuell, namentlich bei der Untersuchung der Helligkeitskontraste, variiert werden kann, befindet sich die aus zwei Ringen zusammengesetzte Kontrastscheibe *C* und die einfache Vergleichsscheibe *V*, zwischen und vor beiden das Fixierzeichen *F*. Der mit *H* übereinstimmende, aus einem indifferenten Grau bestehende Schirm *S* kann durch eine einfache Hebelvorrichtung momentan gehoben und herabgelassen werden. Im herabgelassenen Zustand verdeckt er die Scheiben, läßt aber das vor ihnen stehende Fixierzeichen sichtbar. Die Versuche werden nun so ausgeführt, daß der Beobachter zuerst *F* fixiert, dann während einer Zeit von 1—2 Sek. den Schirm hebt und sofort wieder senkt, in der entstehenden Pause die Vergleichsscheibe, die wo möglich an einem vom Platze des Beobachters aus regulierbaren MARBEschen Rotationsapparat befestigt ist, um eine sehr kleine Größe verstellt, und so in den folgenden Versuchen bis zu erreichter Gleichheit mit der induzierten Helligkeit oder Farbe fortfährt. Bedient man sich, wie es bei der Untersuchung des Farbenkontrastes geschehen kann, bloß einer einzigen Scheibe *C* von der in Fig. 206 *B* dargestellten Beschaffenheit, so wird das Fixierzeichen *F* direkt vor *C* gestellt, am zweckmäßigsten so, daß es auf den induzierten Ring in zureichender Entfernung von der Zone des Randkontrastes trifft. Sichere Fixation während der kurzen Expositionszeiten ist natürlich in allen Versuchen erforderlich.

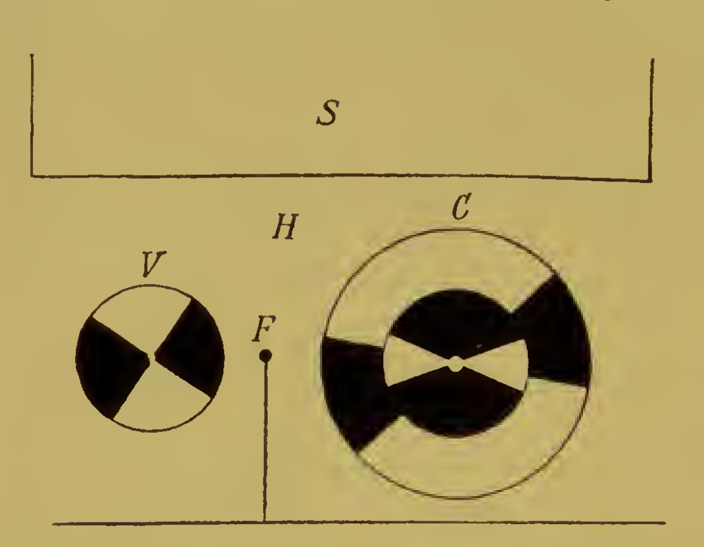


Fig. 219. Versuchsanordnung zur Messung der Kontrastwirkungen.

Was diese quantitativen Untersuchungen vor allem feststellen, ist nun 1) das gänzlich abweichende Verhalten des Helligkeits- und des reinen Farbenkontrastes, und 2) die Begünstigung der induzierenden Wirkung durch unbestimmte Begrenzung der Konturen, wobei die letztere Wirkung sich zugleich von der direkten der Irradiation unabhängig erweist. Deutlicher noch als an der in Fig. 218 dargestellten Kurve tritt dieser Einfluß dann hervor, wenn man die Differenz beider Kontraste, des gewöhnlichen f_1 und des Florkontrastes f_2, im Verhältnis zum Sättigungsgrad der induzierenden Farbe berechnet, und die so erhaltenen Werte $\frac{f_2 - f_1}{F}$ als Ordinaten auf der Abszissenlinie der *F* errichtet. Man erhält so die in Fig. 220 für Rot ausgeführte Kurve, der die für andere induzierende Farben geltenden im wesentlichen gleichen. Das Maximum der relativen Florwirkung liegt stets bei annähernd denselben, sehr bald dem ersten Ansteigen der Kurve folgenden Sättigungsgraden.

Die folgende Tabelle gibt nach den Versuchen von J. KÖHLER eine Übersicht dieses Verhaltens für die drei Farben Rot, Grün und Blau, unter Anwendung von Pigmentfarben. F bezeichnet die Sättigungsgrade der Induzierenden in Sektorenbreiten, f_1 die Kontrastwerte bei gewöhnlichem (bez.

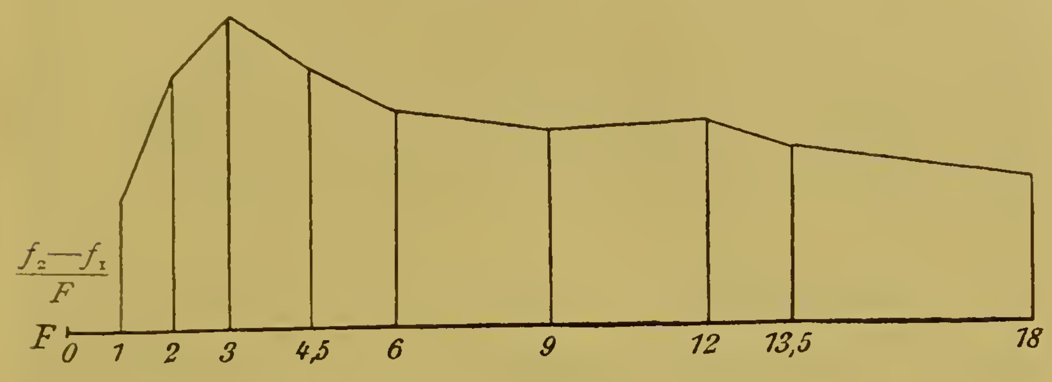


Fig. 220. Kurve des Verhältnisses $\frac{f_2 - f_1}{F}$.

minimalem Flor-), f_2 dieselben bei Florkontrast, nach der angegebenen Methode durch die zur Aufhebung des Kontrastes erforderlichen Farbengrade gemessen:

Rot.

F	20	40	60	90	120	180	240	270	360
f_1	16	20	20	22	24	29	26	26	24
f_2	16	24	27	30	34	38	42	42	44

Grün.

F	20	40	60	80	120	140	180	220	260	300	360
f_1	14	24	28	30	32	32	34	36	37	38	40
f_2	16	28	34	37	42	44	48	52	57	60	62

Blau.

F	20	40	60	80	100	120	160	180	220	260	300	360
f_1	16	30	34	38	40	41	44	46	50	54	56	58
f_2	17	34	42	48	52	56	60	62	68	72	74	76

Diese Übersicht zeigt, daß im Rot der Kontrast am schnellsten ansteigt, und daß zugleich die Konstanz der absoluten Kontrastwerte hier am größten ist. Im Grün und im Blau ist der Anstieg bedeutender und erstreckt sich über einen längeren Teil der Kurve.

Schließlich sei hier noch darauf hingewiesen, daß, wie bei den Nachbildern (S. 217), so auch bei den Kontrasterscheinungen, und bei ihnen augenfälliger als bei jenen, die Synergie der beiden Augen in gewissen Wechselwirkungen der Helligkeits- und Farbenempfindungen hervortritt, die sich dem Begriff eines binokularen Kontrastes unterordnen. Dieser gleicht in seinen Erscheinungen ganz dem auf einer und derselben Netzhaut erzeugten, mit dem Unterschied, daß die induzierende Empfindung dem einen, die induzierte

dem andern Auge angehört. Da jedoch diese Wechselwirkungen mit den sonstigen Funktionen des binokularen Sehens nahe zusammenhängen, so können sie erst später in Verbindung mit diesen erörtert werden[1]. Hier sei nur hervorgehoben, daß sie, entsprechend dem allgemeinen Charakter des Kontrastes, auf zentralere Verbindungen zwischen den empfindenden Flächen beider Augen hinzuweisen scheinen, als die sie begleitenden und oft schwer von ihnen zu trennenden binokularen Nachbilderscheinungen[2]. Wie wir als die wahrscheinlichen Übertragungsstellen für die letzteren die Mittelhirnzentren betrachten konnten, so werden daher möglicherweise als die Ursprungsstätten der im binokularen Kontrast zutage tretenden Wechselbeziehungen beider Netzhäute die Großhirnendigungen der Optikusbahnen (Bd. 1, S. 184) anzusprechen sein.

h. Anomalien der Farbenempfindung: Farbenblindheit.

Wie in allen andern Sinnesgebieten, und am ausgeprägtesten in denen der chemischen Sinne individuelle Abweichungen der Empfindungssysteme vorkommen, die sich in ihren geringeren Graden als verschiedene Empfindlichkeit und in ihren höheren als völlige Unempfindlichkeit für gewisse Reize geltend machen, so beobachtet man solche Anomalien vielfach auch beim Gesichtssinn. Sie äußern sich hier namentlich in den Erscheinungen, die man unter dem Namen der Farbenblindheit zusammenzufassen pflegt, wobei man unter diesem Ausdruck nicht bloß solche Zustände versteht, in denen überhaupt keine Farben empfunden werden, sondern auch diejenigen, wo die Empfindung nur für irgendwelche einzelne Farben mangelt. Diese Zustände unvollständiger Farbenempfindung gehen dann aber wieder in solche über, in denen überhaupt keine Empfindung fehlt, sondern nur die Empfindlichkeit für gewisse Farben herabgesetzt ist. Die sogenannte Farbenblindheit umfaßt daher Erscheinungen, die durch alle möglichen Zwischenstufen zu den noch in die Breite des normalen Empfindens fallenden individuellen Abweichungen überführen. Solche geringere Abweichungen sind aber so verbreitet, daß möglicherweise kein einziges individuelles Farbensystem einem andern vollkommen gleicht. Jene stärkeren, als totale oder partielle Farbenblindheit bezeichneten Anomalien dagegen sind in der Regel angeborene und in manchen Fällen nachweislich vererbte Zustände, die meist auf beiden Augen zugleich, nur in seltenen Fällen auf einem allein vorkommen.

Unter allen diesen Anomalien bildet die angeborene totale Farbenblindheit die äußerste Abweichung vom normalen Verhalten. Sie

---

[1] Vgl. Abschn. III, Kap. XIV.
[2] E. B. Titchener, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 308 f. Siehe oben S. 217.

ist durchweg mit andern Anomalien, namentlich mit Mangel des Pigments (Albinismus), erhöhter Empfindlichkeit für Helligkeiten und mangelhafter Sehschärfe verbunden. Ein Gemälde wird in solchen Fällen wie eine Zeichnung gesehen, alle Schatten und Helligkeitsstufen vollkommen deutlich, aber keine Farbe von der andern verschieden. Ebenso wird das Spektrum nur als ein lichtes Band gesehen, in welchem aber die Helligkeiten gerade so verteilt sind wie in dem Spektrum des farbentüchtigen Auges[1]. Häufiger als diese sehr seltenen Fälle angeborener sind diejenigen erworbener, und dann stets zugleich zirkumskripter, oft auf einzelne sehr kleine Stellen beschränkter totaler Farbenblindheit. Ich hatte Gelegenheit, eine solche an meinem eigenen rechten Auge vor der Ausbildung eines »negativen Skotoms« (der völligen Erblindung der betreffenden Stelle) infolge einer disseminierten Aderhautentzündung zu beobachten. Während des Übergangsstadiums der totalen Farbenblindheit erschien irgend ein farbiges Papierschnitzel, das im Netzhautbild die Stelle deckte, grau, dabei aber vollkommen in derselben Helligkeit wie ein gleich gefärbtes Papierschnitzel, das sich auf einer benachbarten farbentüchtigen Stelle abbildete, ganz in Übereinstimmung mit der bei diffuser totaler Farbenblindheit beobachteten Helligkeitsverteilung im Spektrum[2]. Somit erweisen sich bei diesem Zustand sehr augenfällig Helligkeits- und Farbenerregungen als voneinander unabhängige Vorgänge.

Weit verbreiteter als die totale ist die partielle Farbenblindheit. Wo sie als angeborener Zustand auf beiden Augen vorkommt, da verbirgt sie sich zunächst der unmittelbaren Beobachtung, weil dem Farbenblinden das System der normalen Farbenempfindungen völlig unbekannt ist. Nur aus der genauen Vergleichung der Verwechslungen verschiedener Farben, namentlich solcher, die man am Farbenkreisel oder an sonstigen Farbenmischapparaten[3] hergestellt hat, unter Umständen aus der Bestimmung der fehlenden Teile des Sonnenspektrums läßt sich daher die individuelle Natur eines solchen unvollständigen Empfindungssystems ermitteln. Die so ausgeführte Untersuchung zeigt, daß die mit angeborener Farbenblindheit behafteten Individuen, deren Gesamtzahl

---

[1] Fälle totaler angeborener Farbenblindheit sind genauer beschrieben und untersucht von HERING (PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 563), HIPPEL (Festschrift der Universität Halle, 1894), RÄHLMANN (Zeitschrift für Augenheilkunde, Bd. 2, S. 315, 403), GRUNERT, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 56, 1903, S. 132. In einem Fall von KÖNIG (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 7, 1894, S. 161) war die Farbenblindheit eine nahezu, aber nicht vollkommen totale. In einem von UHTHOFF beobachteten (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 20, 1898, S. 326) war zugleich ein zentrales Skotom vorhanden, so daß dieser Fall wohl schon in den Bereich der erworbenen Farbenblindheit gehört.

[2] Über einige ähnliche Fälle zirkumskripter Farbenblindheit berichten LEBER, in GRAEFE und SAEMISCH, Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 5, 2, S. 1036. ANGSTEIN, Archiv für Augenheilkunde, Bd. 14, S. 347.

[3] Vgl. oben S. 168 ff.

nach HOLMGRENs statistischer Berechnung durchschnittlich zwischen 3 und 6 Prozent der Bevölkerung schwanken soll, in verschiedene Klassen zerfallen, bei denen sich die Verwechslungen der Farbentöne wieder sehr abweichend verhalten[1]. Von einer ersten Klasse, welche die zahlreichste ist, werden Rot und Grün miteinander und mit Grau verwechselt, während die brechbareren Farben sämtlich gut unterschieden werden. Innerhalb dieser Klasse existieren aber wieder drei Unterklassen: der ersten fehlen die Empfindungen Rot und Grün, die zweite umfaßt Fälle bloßer Rot-, die dritte und seltenste solche reiner Grünblindheit. Die letzteren unterscheiden sich dadurch, das die Rotblinden helles Rot mit dunklem Grün, die Grünblinden dunkles Rot mit hellem Grün verwechseln. Bei den Rotblinden ist das rote Ende des Spektrums meist verkürzt, von den Grünblinden wird der mittlere, zwischen Gelb und Blau gelegene Teil mit Grau verwechselt; außerdem ist die Grünblindheit augenscheinlich ein minder gleichförmiger Zustand, da bei ihr die Zone der geringsten Empfindlichkeit bald mehr gegen Rot bald mehr gegen Blau verschoben erscheint, und da bei ihr alle möglichen Übergangsstufen zur normalen Farbenempfindlichkeit vorzukommen scheinen, während man solche bei der Rotblindheit seltener beobachtet[2]. Die zweite Hauptklasse der Farbenblinden, die Violettblinden, Blaublinden oder Blaugelbblinden, ist viel seltener. Blau und Gelb werden von ihnen nur an ihrer Helligkeit unterschieden, sonst aber mit Grün oder Grau verwechselt, und der brechbarste Teil des Spektrums scheint dabei in einzelnen Fällen mehr oder minder erheblich verkürzt zu sein. Künstlich läßt sich ein vorübergehender Zustand von Violettblindheit durch den Genuß von Santonin hervorrufen. Dabei werden helle Objekte gelb oder grüngelb, dunkle, teils wahrscheinlich infolge subjektiver Reizung teils als Kontrastwirkung, violett gesehen, während gleichzeitig das violette Ende des Spektrums verkürzt ist[3]. Abgesehen von diesen beiden Hauptklassen zeigt nun aber die objektive Prüfung einer großen Zahl Farbenblinder, daß für jede beliebige Wellenlänge verminderte Empfindlichkeit oder Unempfindlichkeit bestehen kann, wobei sich dieser Zustand bald auf eine einzige Region des Spektrums beschränkt, bald über einige voneinander getrennte Regionen erstreckt. Im allgemeinen scheint nur die Unempfindlichkeit für die minder

---

[1] HOLMGREN, Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen und zur Marine. 1878.

[2] DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 27, 1, 1881, S. 155. Bd. 30, 1, 1884, S. 15, und Archiv für Physiologie, 1884, S. 518. KÖNIG und DIETERICI, Abhandlungen der Berliner Akademie, 29. Juli 1886, und Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 4, 1892, S. 241 ff.

[3] ROSE, VIRCHOWS Archiv, Bd. 19, 1860, S. 522. Bd. 20, S. 245. Bd. 28, 1863, S. 30. HELMHOLTZ, Physiologische Optik², S. 361.

brechbaren Farben (Rot bis Grün) häufiger vorzukommen als die für die brechbareren[1]. Die obigen Bezeichnungen verdanken daher wohl zum Teil der bevorzugten Stellung, die Rot, Grün und Violett, bzw. Blau, im Spektrum einnehmen, und einigermaßen wohl auch dem Umstand, daß die meisten dieser Farben zu den schon in den sprachlichen Bezeichnungen bevorzugten Hauptfarben in dem oben S. 151 angeführten Sinne gehören, ihren Ursprung. Immerhin scheint es, daß bei aufgehobener Empfindlichkeit für irgend eine Farbe besonders leicht auch für die zu ihr komplementäre eine aufgehobene oder verminderte Empfindlichkeit besteht. In manchen Fällen partieller Farbenblindheit ist aber die Farbenempfindlichkeit zugleich insofern verändert, als die Verhältnisse der Komplementärfarbenpaare eine Verschiebung erfahren[2]. Dagegen ist die Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten bei der partiellen Farbenblindheit in der Regel nur bei denjenigen Wellenlängen beeinträchtigt, die im Spektrum des Farbenblinden fehlen[3].

Monokulare Farbenblindheit ist in einigen Fällen als kongenitaler Zustand[4], in andern vorübergehend als Begleiterscheinung des sog. Hypnotismus bei einseitiger Erzeugung desselben beobachtet worden[5]. In mehreren dieser Fälle ließ sich feststellen, daß einzelne Teile des Spektrums nicht farbig sondern grau empfunden wurden, und daß bestimmte Farbentöne in dem Spektrum des farbenblinden Auges fehlten. So unterschied ein einseitig Rotgrünblinder HOLMGRENs nur Gelb und Blau, das rote Ende des Spektrums fehlte, und zwischen Gelb und Blau fand sich eine schmale farblose Zone; ein einseitig Violettblinder unterschied nur Rot und Grün, das violette Ende fehlte, und die weiße Zone befand sich im Gelbgrün. In einem von KIRSCHMANN sorgfältig untersuchten Falle

[1] Vgl. übrigens KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 428, und einen charakteristischen Fall von Blaublindheit bei VON VINTSCHGAU, PFLÜGERS Archiv, Bd. 48, 1890, S. 431.

[2] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 212 ff.

[3] A. KÖNIG, Beiträge zur Physiologie u. Psychologie. Festschrift für HELMHOLTZ. 1894.

[4] O. BECKER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 25, 2, 1879, S. 205 (Fall von monokularer totaler Farbenblindheit). VON HIPPEL, ebend. Bd. 26, 2, 1880, S. 176, und Bd. 27, 3, 1881, S. 47. HOLMGREN, Zentralbl. f. d. med. Wiss. 1880, S. 398, 913. HESS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 36, 3, 1890, S. 24. HERING, PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 563. (In beiden letzteren Fällen existierte vollständige Rotblindheit, während die Empfindlichkeit für Grün sowohl wie für alle andern Farben nur vermindert war.) KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 196 ff. Zahlreiche Fälle von »Farbenschwäche«, von denen manche zwischen totaler und partieller Farbenblindheit mitten inne liegen, hat A. GUTTMANN gesammelt (Zeitschrift für Sinnesphysiologie, Bd. 41, S. 45 ff., 1907. Bd. 42, S. 24 ff. Bd. 43, S. 146 ff., 1908.

[5] HEIDENHAIN und GRÜTZNER, Breslauer ärztl. Zeitschr. 1880, Nr. 4. COHN, ebend. Nr. 6. Umgekehrt soll sich nach COHN bei Personen mit angeborener Farbenblindheit infolge der Hypnotisierung ein normaler Farbensinn herstellen können. (Deutsche med. Wochenschr. 1880, Nr. 16.) Doch dürfte hier wohl eher eine Suggestion der Farbennamen als eine Änderung der Empfindung anzunehmen sein. Über die Bedingungen und Erscheinungen des Hypnotismus im allgemeinen vgl. unten Abschn. V.

fehlten im farbenblinden Auge Gelb, Grün und Violett und erwies sich spektrales Rot zu Blau komplementär[1].

Wie das System der Farbenempfindungen des normalen, farbentüchtigen Auges mit dem für dasselbe gültigen Mischungsgesetz symbolisch durch eine Fläche dargestellt werden kann, deren Begrenzungslinie sich einem Dreieck nähert, dessen Ecken durch die drei Grundfarben gebildet werden, so läßt sich nun natürlich auch das Farbensystem eines farbenblinden Auges jedesmal durch irgend ein analoges geometrisches Gebilde veranschaulichen; und die eigentümliche Abweichung, die dieses von der Farbenfläche des normalen Auges darbietet, gibt dann ein Bild ebensowohl der Empfindungsverhältnisse eines solchen Auges wie der für dasselbe geltenden Gesetze der Farbenmischung. Bezeichnet man die Hauptformen der so entstehenden Farbensysteme nach der Zahl der in ihnen eine ausgezeichnete Stellung einnehmenden Grundfarben, so lassen sich diese sämtlichen Systeme als achromatische, dichromatische und trichomatische unterscheiden. Monochromatische Systeme, d. h. Zustände, in denen außer dem Farblosen nur eine Farbe empfunden würde, scheinen nicht oder höchstens als Annäherungen an den achromatischen Zustand vorzukommen[2]. Achromatisch ist das System des total farbenblinden Auges: in ihm reduziert sich die Farbenfläche auf den Punkt des Weiß; und, wenn man das System der reinen Helligkeitsempfindungen in die Darstellung mit aufnimmt, so reduziert sich das dreidimensionale System des farbentüchtigen Auges, der Farbenkegel oder die Farbenkugel, auf eine einzige gerade Linie, die der farblosen Empfindungen. In vielen Fällen partieller Farbenblindheit lassen sich sodann die sämtlichen Farben, die empfunden werden, nebst dem Weiß durch bloß zwei Grundfarben herstellen: die dichromatischen Systeme. Dahin gehören die Fälle von Rot-, Grün- und Rotgrünblindheit, aber auch die von Blau- und von Gelbblaublindheit. In den einzelnen Fällen sind die zu wählenden Grundfarben, auch wenn der Zustand der gleichen allgemeinen Klasse angehört, nicht ganz dieselben. So lassen sich bei dem reinen Rotblinden die sämtlichen Farben nebst dem Weiß aus Grün und Violett zusammensetzen, bei dem Rotgrünblinden verschieben sich die Grundfarben nach Gelb und Blau. Analoge Schwankungen sind wohl bei den selteneren Blau- und Gelbblinden vorhanden. Auch ist zu be-

[1] KIRSCHMANN, a. a. O. S. 200 ff.

[2] Zuweilen wird der Ausdruck »monochromatisch« für die totale Farbenblindheit gebraucht (HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 359). Er ist aber jedenfalls besser durch »achromatisch« zu ersetzen, nicht nur weil er in den Fällen wirklicher totaler Farbenblindheit tatsächlich falsch ist, sondern weil man ihn auch für die immerhin möglichen Fälle vorbehalten sollte, wo keine vollständige Achromasie, sondern eine schwache Empfindlichkeit für eine Farbe noch existiert.

merken, daß man in vielen Fällen von sogenannter Dichromasie zwar alle Farbenqualitäten, nicht aber alle Sättigungsstufen mit bloß zwei Farben herstellen kann. Das trichromatische System ist das des normalen Auges. Es kommen aber auch von dem normalen abweichende trichromatische Systeme vor, die meist Annäherungen an das dichromatische der Rot- oder der Rotgrünblinden sind. Diese Fälle hat man als »unvollkommene Trichromasie« bezeichnet[1]. Schon die mannigfachen Übergänge, die sich hier zwischen den einzelnen Formen der Farbensysteme und ihren individuellen Abweichungen vorfinden, zeigen deutlich, daß, wie die drei Grundfarben des normalen Farbensystems lediglich ein Ausdruck des Mischungsgesetzes sind, ohne über das Zustandekommen oder die Zusammensetzung unserer Farbenempfindungen irgend etwas auszusagen (S. 160), so auch die Namen »Dichromasie« und »unvollständige Trichromasie« nur so lange eine Berechtigung besitzen, als man in ihnen die Abweichungen des Mischungsgesetzes für das partiell farbenblinde Auge zusammenfaßt, daß es aber nicht im geringsten berechtigt ist, einen solchen Ausdruck für die Mischungsphänomene ohne weiteres auf die Empfindungen selbst zu übertragen. Nur die besondere Stellung, die der »Achromasie« zukommt, besonders aber der Umstand, daß die bei ihr vorhandenen Helligkeitsempfindungen völlig von der Anomalie der Farbenempfindung unberührt bleiben können, beweisen auch vom Gesichtspunkt dieser Störungen der Empfindung aus die relative Unabhängigkeit der Helligkeits- von den Farbenempfindungen, die sich, wie wir oben gesehen haben, aus dem abweichenden Verlauf der Helligkeits- und der Farbenerregung ergibt (S. 207).

Zur Untersuchung Farbenblinder kann man sich im allgemeinen dreier Methoden bedienen, die bei einer gründlichen Untersuchung zweckmäßig einander folgen. Eine vorläufige Orientierung gewinnt man durch die Methode der Farbenproben. Wollproben oder Schrifttafeln mit verschiedener Färbung der Buchstaben werden vorgelegt, und aus den begangenen Verwechselungen oder aus der Unfähigkeit, eine farbige Schrift auf andersfarbigem Grunde zu lesen, läßt sich in der Regel schon ziemlich sicher der allgemeine Charakter der bestehenden Anomalie erschließen. Daran reiht sich als zweite Methode die zuerst von MAXWELL angewandte Prüfung mit dem Farbenkreisel. Man verwendet entweder zwei Scheiben oder läßt die verschiedenen Zonen einer einzigen vergleichen, auf denen man die Mischungen durch verschieden gefärbte Sektoren hervorbringt. Man stellt so diejenigen Verhältnisse von Pigmentfarben und von Schwarz mit Weiß her, bei denen die Mi-

[1] Über Farbensysteme Farbenblinder vgl. besonders F. C. DONDERS, Archiv für Physiologie, 1884. S. 518. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 30, 1, 1884, S. 15. KÖNIG und DIETERICI, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 4, 1893. S. 241. HELMHOLTZ, ebend. S. 108. J. VON KRIES, ebend. Bd. 19, 1898, S. 63.

schungen von dem Farbenblinden gleich empfunden werden. Auf diese Weise gewinnt man Farbengleichungen, in denen der Anteil der einzelnen Pigmente oder Helligkeiten an der Mischung durch die Winkelbreite der Sektoren ausgedrückt ist. Z. B. 200 Rot + 160 Blau = 195 Schwarz + 165 Weiß würde bedeuten, daß für ein bestimmtes Auge diese bestimmte Mischung aus Rot und Blau der andern aus Schwarz und Weiß, die dem normalen Auge grau erscheint, äquivalent ist. Die dritte Methode ist die Einwirkung des Spektrums und spektraler Mischungen, wozu die oben (S. 168 ff.) beschriebenen Mischapparate verwendet werden können. Sie entscheidet erst mit Sicherheit über das etwaige Fehlen einzelner Teile des Spektrums sowie über die Helligkeitsverhältnisse desselben[1].

Die Literatur über Farbenblindheit ist gegenwärtig eine fast unabsehbare geworden. Physiologen, Psychologen, Ophthalmologen haben sich, die einen aus theoretischem, die andern aus praktischem Interesse oder aus beiden Gründen zugleich, auf das eifrigste mit der Untersuchung Farbenblinder beschäftigt[2]. Der Fortschritt der Untersuchungen hat jedoch, wie man heute wohl sagen darf, nicht ganz den Erwartungen entsprochen, die ursprünglich in theoretischer Hinsicht an diese Erscheinungen geknüpft wurden, oder vielmehr: er hat vielfach die ursprünglich aufgeworfenen Fragen in einem den Erwartungen entgegengesetzten Sinne beantwortet. Hatte man gehofft, je nach den Vorstellungen, mit denen man an die Erscheinungen herantrat, entweder die Hypothese der drei oder die der vier farbigen Grundempfindungen (siehe unten i) bestätigt zu finden, so kann heute für jeden die Dinge unbefangen betrachtenden Beobachter nichts gewisser sein als dies, daß weder das eine noch das andere der Fall ist, daß vielmehr die einzige, übrigens zureichend auch schon durch die normalen Erscheinungen des Sehens gestützte Tatsache die relative Unabhängigkeit der Helligkeits- und der Farbenempfindungen ist, während für die letzteren eine ähnliche Selbständigkeit fest bestimmter Elementarempfindungen nicht nachgewiesen werden kann und im Hinblick auf die mannigfachen Beziehungen der Farbenempfindungen zueinander eigentlich immer unwahrscheinlicher geworden ist. Wenn das heute in der Regel noch nicht anerkannt wird, so liegt der augenfällige Grund darin, daß man sich in der »unvollkommenen Trichromasie« und ähnlichen Hilfsbegriffen Notbrücken geschaffen hat, mit denen man sich vorläufig noch über das Scheitern aller solcher Versuche, bestimmte Sehhypothesen durch die Beobachtungen an

[1] Vgl. hierzu HELMHOLTZ, Physiologische Optik², S. 299. SNELLEN und LANDOLT, in GRAEFE und SAEMISCHS Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 3, 1, S. 39. HOLMGREN, Die Farbenblindheit in ihrer Beziehung zu den Eisenbahnen und zur Marine. 1878. DONDERS, Über Farbensysteme. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 27, 1, 1881, S. 155 ff. KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 173, 402 ff. KÖNIG und DIETERICI, Abhandl. der Berliner Akademie, 29. Juli 1886, und Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 4, 1892, S. 241 ff. W. NAGEL, Die Diagnose der praktisch wichtigen angeborenen Störungen des Farbensinnes. 1899. Zur qualitativen Untersuchung Farbenblinder für praktische Zwecke sind Tafeln zusammengestellt von J. STILLING, Pseudoisochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes³. 1900, und von NAGEL, Tafeln zur Untersuchung des Farbenunterscheidungsvermögens³. 1906.

[2] Die ältere Literatur und die neuere bis zum Jahr 1894 hat ARTH. KÖNIG zusammengestellt in seiner der 2. Aufl. von HELMHOLTZ' Physiolog. Optik beigegebenen Literaturübersicht, S. 1173 ff. Die neueste Literatur findet man großenteils bei J. VON KRIES, NAGELS Handbuch der Physiol. Bd. 3, S. 149 ff. und A. TSCHERMAK, Ergebnisse der Physiol. 1. Jahrgang, II, 1902, S. 732 ff.

Farbenblinden zu beweisen, hinwegtäuscht. Da man nicht nur an die Untersuchung der Erscheinungen der Farbenblindheit im ganzen, sondern sogar an die Beobachtung der einzelnen Fälle sofort mit einer abgeschlossenen Theorie heranzutreten pflegt, so ist auch kaum zu erwarten, daß sich bei dieser Untersuchung etwas anderes herausstellen werde als eben eine wohl oder übel zustande kommende Bestätigung dessen was eine solche Theorie fordert. Darum ist die Geschichte der Farbenblindheit in ihrer engen Verschwisterung mit der Geschichte der Farbentheorien ein belehrender Beleg für die alte BACONsche Warnung vor den »idola theatri«, vor jenen »Götzenbildern des Verstandes«, als die er die Meinungen der Schulen ansah. Zudem hat aber die trügerische Hoffnung, die man den Symptomen der Farbenblindheit entgegenbrachte, nicht wenig dazu beigetragen, die Aufmerksamkeit der Physiologen und Psychophysiker von den Quellen abzulenken, aus denen doch eine Theorie der Lichtempfindungen vor allen Dingen schöpfen sollte, von den normalen Empfindungen; oder man hat wohl auch auf diese dasselbe Verfahren übertragen, das in den Erörterungen der Farbenblindheit vorwaltet. Statt irgendwelche Erscheinungen objektiv zu schildern, zieht man es meistens vor, sie von Anfang an in die Sprache einer bestimmten Theorie einzukleiden. Nachdem dies im Vorangegangenen geflissentlich vermieden worden ist, werden wir uns nunmehr freilich, am Schlusse dieser Betrachtung der einzelnen Erscheinungen, einer kritischen Beleuchtung der aufgestellten Theorien nicht länger entziehen dürfen.

i. Hypothesen über Licht- und Farbenempfindungen: Komponententheorien.

Eine Theorie der Lichtempfindungen hat selbstverständlich die Aufgabe, so weit wie möglich von den sämtlichen Erscheinungen Rechenschaft zu geben, die wir oben im einzelnen kennen gelernt haben. Dahin gehören vor allem: 1) die subjektiven Beziehungen der Lichtqualitäten, wie sie in der geschlossenen Gestalt der Farbenkurve und in dem Übergang aller Farbentöne ins Farblose ihren Ausdruck finden, 2) das Mischungsgesetz, das in seiner einfachsten Formulierung auf drei Grundfarben zurückführt, 3) die Verhältnisse des Verlaufs der Lichterregung und der Nachbilder, 4) die Wechselwirkungen gleichzeitiger Lichterregungen oder die Kontrasterscheinungen, und endlich 5) die Anomalien der Farbenempfindung, insbesondere die Erscheinungen der totalen und der partiellen Farbenblindheit.

Nun sind die aufgestellten Hypothesen meistens einseitig von einigen wenigen der hier hervorgehobenen Gruppen von Tatsachen oder sogar nur von einer unter ihnen ausgegangen. Zunächst war es die subjektive Verwandtschaft der beiden Endfarben des Spektrums, welche die Aufmerksamkeit auf sich zog. Diese Verwandtschaft wurde schon von NEWTON[1] in Analogie gebracht mit der Beziehung des Grundtons zu seiner

[1] NEWTON, Optice, lib. I, pars II.

Oktave im Gebiet der Töne, eine Beziehung, die späterhin noch darin eine Stütze zu finden schien, daß die Undulationstheorie für das Violett nahezu die doppelte Anzahl Schwingungen annehmen ließ als für das Rot[1]. Obgleich nun aber der Versuch, diese Analogie auch auf die zwischenliegenden Farbenintervalle auszudehnen, nicht durchführbar ist[2], und überhaupt vermöge der völligen Verschiedenheit der Reizungsvorgänge in beiden Sinnesorganen die nötige Grundlage einer solchen Vergleichung fehlt, so läßt sich immerhin nicht bestreiten, daß der Beziehung jener subjektiven Verwandtschaft der roten und violetten Farbe auf die Schwingungsverhältnisse des objektiven Lichtes eine gewisse Bedeutung zukommen dürfte. Von dem photochemischen Reizungsvorgang, den wir voraussetzen, müssen wir jedenfalls annehmen, daß er mit der Annäherung an die doppelte Schwingungszahl wieder derjenigen Beschaffenheit ähnlich wird, die er bei den längsten Lichtwellen besitzt. Bei der sonstigen durchgreifenden Verschiedenheit der Ton- und Farbenerregung läßt sich aber diese eine Analogie zu keinerlei weiteren Schlüssen benutzen.

Um so näher lag es daher, gerade auf jene Erscheinungen zurückzugreifen, in denen umgekehrt die Verschiedenheit der Klang- und Lichtempfindungen vorzugsweise zutage tritt: auf die Mischungserscheinungen. Dies geschah zuerst von THOMAS YOUNG, dessen Hypothese dann von HELMHOLTZ aufgenommen und weiter ausgebildet worden ist. Die YOUNG-HELMHOLTZsche Hypothese führt demnach alle Lichtempfindungen auf drei den Grundfarben entsprechende Grundempfindungen zurück. Dabei ist es für das Wesen der Hypothese gleichgültig, ob man diese drei Grundempfindungen mit YOUNG an die spezifische Energie dreier Nervenfaserklassen oder mit HELMHOLTZ in den früheren Darstellungen seiner Theorie an verschiedene Elemente der Netzhaut, oder endlich an verschiedene Sehstoffe gebunden denkt, wie dies später von HELMHOLTZ und von andern Forschern, die sich ihm anschlossen, geschehen ist. Allen diesen Vorstellungen ist die Annahme gemein, daß aus nur drei spezifisch verschiedenen physiologischen Prozessen die sämtlichen Lichtempfindungen entstehen. Insofern man nun an der überall im Gebiet der Sinneslehre sich bestätigenden Voraussetzung festhält, daß den Diffe-

---

[1] Vgl. S. 146 Anm. 1.

[2] Nach UNGER (POGGENDORFFS Annalen, Bd. 87, 1852, S. 121) bilden Rot, Grün und Violett einen dem Durakkord analogen konsonanten Dreiklang. Die von DROBISCH (Abhandl. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Kl., Bd. 4, 1855, S. 107) ausgeführte Berechnung stimmt aber damit nicht überein, da nach derselben ungefähr die Quarte, die eine entschieden weniger vollkommene Konsonanz als die Quinte ist, dem Verhältnis der Kontrastfarben entsprechen würde (ebend. S. 119). Dabei hat sich DROBISCH außerdem genötigt gesehen, um die Analogie zwischen Ton- und Farbenreihe überhaupt herstellen zu können, die Verhältniszahlen der Lichtschwingungen auf eine gebrochene Potenz zu erheben.

renzen der psychischen Elementarvorgänge Unterschiede der physischen Prozesse entsprechen müssen, begegnet eine solche Annahme von vornherein gewissen Bedenken. Die Empfindung Gelb ist keine Mischung von Rot und Grün, Weiß keine Mischung von Rot, Grün und Violett usw. Indem die YOUNGsche Hypothese die physikalischen Bedingungen, die zur Hervorbringung aller Lichtempfindungen genügen, unmittelbar in physiologische Bedingungen umsetzt, gibt sie demnach über die subjektiven Eigenschaften der Licht- und Farbenempfindungen, über die Eigentümlichkeit der farblosen Erregung, endlich über die Verwandtschaft der Anfangs- und Endfarbe des Spektrums, gar keine Rechenschaft. Daraus daß objektives Rot, Grün und Violett zur Erzeugung aller Lichtqualitäten genügen, dürfen wir aber auch offenbar noch nicht folgern, daß nur drei physiologische Vorgänge bei allen Licht- und Farbenempfindungen existieren, sondern wir müssen, da die qualitativen Empfindungen sehr mannigfaltig sind, die durch jene drei objektiven Farben und ihre Mischungen hervorgebracht werden, im Gegenteil nach Anleitung jenes Prinzips der durchgängigen Korrespondenz von Empfindung und Netzhauterregung schließen, daß die physiologischen Effekte, die aus den quantitativen Mischungsverhältnissen der drei Grundfarben hervorgehen, qualitativ sehr verschiedener Art sein werden. Vielleicht würde man sich auch diesen Erwägungen nicht verschlossen haben, hätte nicht eine Zeitlang die Dreifarbentheorie in den Beobachtungen über Farbenblindheit eine scheinbare Stütze gefunden. In Wahrheit haben sich nun aber im weiteren Verlauf diese Beobachtungen durchaus nicht in dem Sinne beweiskräftig erwiesen, wie man anfänglich glaubte. Die totale Farbenblindheit, die ja normalerweise auf den seitlichsten Teilen, und in einzelnen abnormen Fällen auf der ganzen Netzhaut oder auch an bestimmten zentralen Teilen derselben vorkommt, ist nach der YOUNGschen Hypothese völlig unverständlich; denn es läßt sich nur eine Anordnung der Nervenfasern, Netzhautelemente oder Sehstoffe denken, bei der die Beschaffenheit des objektiven Lichtes für die Empfindung gleichgültig wird: dies müßte dann geschehen, wenn nur eine Art von Elementen vorhanden wäre. Nun könnte man zwar nötigenfalls behaupten, daß ein total Farbenblinder in Wahrheit alles entweder rot oder grün oder violett sehe; bei der exzentrischen sowie bei der einseitigen und der zirkumskripten pathologischen Farbenblindheit, bei denen die Vergleichung mit den normalen Empfindungen möglich ist, läßt jedoch diese Ausflucht im Stich. Auch die Tatsache, daß bei der Rot- oder Grünblindheit ein zwischen Rot oder Grün gelegener Streifen des Spektrums farblos erscheint, und daß in diesen Fällen das weiße Licht weiß und nicht farbig gesehen wird, wie abermals die Fälle monokularer Farbenblindheit zeigen, ist

mit der YOUNGschen Hypothese unvereinbar, selbst wenn man ganz von allen jenen Erscheinungen der normalen Lichtempfindung, wie Adaptation, zeitlichem Verlauf der Erregung, Nachbildwirkung usw. absieht, bei denen sich Helligkeitserregung und Farbenerregung deutlich als verschiedenartige Prozesse zu erkennen geben. Weiterhin beweisen nun aber auch die Erscheinungen der partiellen Farbenblindheit nicht das, wofür man sie oft als unverwerfliche Zeugnisse betrachtet hat. Vielmehr lehrt die unbefangene Prüfung dieser Erscheinungen, daß eine relative Unempfindlichkeit für einzelne Wellenlängen wahrscheinlich in jedem Teil des Spektrums vorkommen kann, und daß von den drei Grundfarben höchstens Rot und allenfalls noch Grün, keineswegs aber Violett vor den andern Farben sich auszeichnet. Dazu kommt, daß selbst bei den gewöhnlichen Rot- und Grünblinden beträchtliche Verschiedenheiten in der Ausdehnung und Lage der nicht empfundenen Strahlen vorkommen, wie die variable Beschaffenheit der sogenannten Farbengleichungen bei Farbenblinden einer und derselben Klasse und häufig auch die Lage der neutralen, d. h. relativ oder absolut farblosen Stelle im Spektrum beweist. Wenn immerhin, in diesem variabeln Sinne genommen, Rot- und Grünblindheit teils jede isoliert, teils beide vereinigt ein Übergewicht erkennen lassen, so steht dies vielleicht damit in Zusammenhang, daß beide verhältnismäßig breite Strecken im Dispersionsspektrum einnehmen. Überdies spielt bei dieser Bevorzugung offenbar die Neigung, an Stelle der Übergangsfarben die Namen der nächstliegenden Hauptfarben zu wählen, eine täuschende Rolle. So ist es z. B. sehr zweifelhaft, ob die Grünblindheit wirklich die ihr zugeschriebene Bedeutung besäße, wenn man sich nicht gewöhnt hätte, Gelbgrün und Blaugrün ebenfalls Grün zu nennen[1].

Indem HERING dem Hauptmangel der Dreikomponententheorie, daß dieselbe das Zustandekommen der meisten von den Grundfarben verschiedenen Empfindungen überhaupt nicht erklärt, abzuhelfen suchte[2], stellte er eine Hypothese auf, die gleichzeitig den subjektiven Bedingungen der Empfindung und den Forderungen des Mischungsgesetzes gerecht werden soll. Diese Hypothese bringt zunächst die vier früher (S. 151) erwähnten Hauptfarben, Rot, Gelb, Grün und Blau,

---

[1] Vgl. hierzu meine näheren Ausführungen Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 328 ff.

[2] Ich darf wohl bemerken, daß dieser Mangel schon vor dem Erscheinen der HERINGschen Arbeiten in der ersten Auflage dieses Werkes (S. 388) hervorgehoben wurde. Zugleich habe ich damals schon, von der Voraussetzung ausgehend, daß gleichen Empfindungen gleiche und verschiedenen verschiedene Nervenprozesse zugrunde liegen, den Versuch gemacht, eine Theorie der Lichtempfindungen zu entwickeln, die von der unten vorgetragenen nur in dem einen Punkte abweicht, daß in jener die farblose Erregung noch als die Resultante einander entgegenwirkender Prozesse betrachtet wurde.

zur Geltung, indem sie annimmt, je zweien am Farbenkreis einander gegenüberliegenden, also einerseits dem Rot und Grün, anderseits dem Gelb und Blau, und außerdem dem Schwarz und Weiß, die ähnliche qualitative Gegensätze seien, entspreche ein spezifischer Sehstoff. In jedem dieser Sehstoffe sollen dann zwei entgegengesetzte Prozesse vorkommen, dem Weiß und Schwarz, Rot und Grün, Gelb und Blau entsprechend, wobei unter den Farben Rot und Gelb als Analoga des Weiß oder als dissimilierende Sehprozesse, Grün und Blau als Analoga des Schwarz oder als assimilierende Sehprozesse betrachtet werden. Entgegengesetzte farbige Sehprozesse sollen aber sich aufheben, so daß allein die farblose Erregung, die alle andern Prozesse begleitet, bestehen bleibt; Weiß und Schwarz sollen dagegen eine mittlere Empfindung, das Grau, hervorbringen[1]. Indem in dieser Weise die Hypothese HERINGs, deren Anwendung auf die Nachbild- und Kontrasterscheinungen sich leicht übersehen läßt, die aus verschiedenen Bedürfnissen hervorgegangenen Begriffe der Hauptfarben und der Grundfarben einander gleichsetzt, gerät sie zunächst in Konflikt mit den Tatsachen des Mischungsgesetzes. Nicht Rot und Grün, sondern Purpur und Grün sind einander komplementär; niemals lassen sich aus den vier Hauptfarben alle Farbenempfindungen herstellen, sondern das spektrale Violett ist auf diesem Wege nicht hervorzubringen; anderseits läßt sich das spektrale Gelb annähernd aus Rot und Grün erzeugen. Jede Rotblindheit müßte ferner zugleich Grünblindheit, jede Blau- zugleich Gelbblindheit sein, während doch in Wirklichkeit namentlich die beiden ersteren getrennt voneinander vorkommen können. Darin jedoch wird man dieser Theorie recht geben müssen, daß aus der Mischung irgendwelcher Farbenempfindungen niemals die Empfindung des Farblosen abgeleitet werden kann, und daß also diese von physiologischen Prozessen eigentümlicher Art begleitet sein muß, wie dies ja auch weiterhin nicht bloß durch das Vorkommen der totalen Farbenblindheit, sondern auch durch eine ganze Reihe von Erscheinungen des normalen Sehens (An- und Absteigen der Erregung, Nachbilder) bestätigt wird, in denen sich der Prozeß der Farbenerregung als ein von dem der Helligkeitserregung spezifisch verschiedener erweist. Gerade gegen diese spezifische Verschiedenheit verstößt nun aber die Vierfarbentheorie wiederum, indem sie in willkürlicher Weise gewisse Farben, nämlich Rot und Gelb, dem Weiß, Grün und Blau dem Schwarz analog setzt und die in der Empfindung toto genere verschiedenen Prozesse der Aufhebung zweier Komplementärfarben zu

[1] HERING, Zur Lehre vom Lichtsinn, 4. und 5. Mitteilung. Über spätere Zusätze zu dieser Theorie vgl. Wiener Sitzungsber., 3. Bd. 98, 1889.

Weiß und der Verbindung von Weiß und Schwarz zu einem zwischen ihnen liegenden Grau auf analoge Gegensätze der Netzhauterregungen bezieht. Denn dadurch setzt sich diese Theorie in Widerspruch zu dem zuvor von ihr selbst anerkannten Grundsatz, daß Empfindung und Netzhauterregung einander entsprechen müssen. Nicht minder beruht dann die in dem Begriff der »spezifischen Helligkeit« eingeführte Annahme eines jeder Farbe unabhängig von der reinen Helligkeitserregung zukommenden besonderen Vorgangs auf einer den Tatsachen widerstreitenden Wiedervereinigung der beiden anfänglich vollkommen zutreffend geschiedenen Arten der Lichtempfindung.

Indem dann weiterhin die Theorie bemüht ist, jeder der von ihr angenommenen Licht- und Farbenkomponenten einen absoluten, sowohl in den Wirkungen, welche die einzelne Lichtqualität in ihren Mischungen ausübt, wie in ihrer eigenen subjektiven Beschaffenheit konstant bleibenden Wert zuzuschreiben, tritt bei ihr ein weiterer Widerspruch zutage, der bei der Dreikomponententheorie vermieden war, weil diese, nur darauf bedacht das Mischungsgesetz zu interpretieren, überhaupt auf den Anspruch verzichtet hatte, Empfindung und Netzhauterregung in klar erkennbare Beziehungen zu bringen. Bei HERINGs Theorie ist das anders. Hier macht der absolute Wert, der den vier Hauptfarben eingeräumt wird, Ansprüche geltend, die zu neuen, jenen Wert zu deutlichem Ausdruck bringenden Begriffsbildungen nötigen. Ein solcher Begriff ist der von HERING eingeführte der Wertigkeit oder Valenz. Indem dieser sichtlich dem Valenzbegriff der Chemie nachgebildet ist, will er sagen, daß jeder Hauptfarbe in ihrer eigenen Empfindungsqualität wie in ihrem Verhältnis zu andern Farben ein spezifischer Empfindungswert zukomme, analog wie die chemische Valenz einen bestimmten, jedem Element eigentümlichen Affinitätswert repräsentiert. So ist der Kohlenstoff ein vierwertiges Element, weil er in allen seinen Verbindungen vier Affinitätseinheiten sättigt; und der Begriff der chemischen Valenz hat nur insofern eine Bedeutung, als die Valenz selbst, abgesehen von einigen wenigen, auf ausnahmsweise Bedingungen zurückführenden Fällen, eine durchaus konstante Größe ist. Dieser Valenzbegriff würde inhaltsleer werden, wenn der Affinitätswert eines Elementes, in den gleichen Einheiten gemessen, von einer Verbindung zur andern wechselte. Nun zeigt sich aber, daß die Farbenvalenz gerade diese Eigenschaft der fortwährenden Variabilität besitzt, in welcher der für sie möglichen Bedeutungen man sie auch anwenden mag. Faßt man sie als Empfindungsvalenz, so würde darunter die relative Intensität zu verstehen sein, in der sich eine bestimmte Farbe gegenüber andern in der unmittelbaren subjektiven Empfindung geltend macht. Diese Empfindungsvalenz ist aber, wie das PURKINJEsche Phä-

nomen lehrt, mit Lichtstärke und Adaptation fortwährend veränderlich: mit fortschreitender Dunkeladaptation wandert das Maximum der Valenz kontinuierlich von den langwelligen zu den kurzwelligen Farben. Faßt man dann zweitens die Valenz als Mischungsvalenz, so ist sie als solche zunächst von der Empfindungsvalenz völlig verschieden, indem jetzt die bei den gewöhnlichen Verhältnissen der Sättigungen und Helligkeiten im Spektrum mit der größten Empfindungsvalenz ausgestatteten langwelligen Farben die kleinste Mischungsvalenz, die mit der kleinsten Empfindungsvalenz begabten kurzwelligen Strahlen aber umgekehrt die größte Mischungsvalenz besitzen. Auch dieses Verhältnis ändert sich aber, sobald die Helligkeitsverteilung der Farben eine andere wird als im Spektrum. Wollte man endlich noch eine Nachbildvalenz unterscheiden, so würde diese wahrscheinlich wiederum von den beiden vorigen abweichen, und sie würde mit den Bedingungen, welche die Nachbildwirkung verändern, abermals veränderlich sein. In jeder der Richtungen, in denen man den Begriff der Farbenvalenz anwenden möchte, läßt er sich also nicht festhalten, weil ihm gerade das Merkmal nicht zukommt, das dem Begriff der Valenz in der Chemie allein seine Berechtigung verleiht, nämlich das der Konstanz in dem einmal festgestellten Sinne. Dadurch wird allerdings die Anwendung der Ausdrücke »Helligkeits-« und »Farbenvalenz« für einen einzelnen Fall oder für eine Gruppe übereinstimmender Fälle, z. B. von Farbenmischung, nicht unbedingt ausgeschlossen. Man wird aber dabei stets dessen eingedenk bleiben müssen, daß diese optische Valenz, im Gegensatze zu ihrem chemischen Vorbild, eine durchaus variable, von dem Zustande des Sehorgans und von den sonstigen Bedingungen des Erregungsvorgangs abhängige Größe ist.

Das entscheidende Motiv für den Vorzug, dessen sich die Vierfarbentheorie vor der Dreikomponententheorie zu erfreuen hatte, lag jedoch weniger in diesen zum Teil nicht einmal notwendig mit ihr verbundenen Voraussetzungen, als vielmehr in einer Eigenschaft, die sie der populären psychologischen Auffassung besonders empfehlenswert erscheinen ließ: darin nämlich, daß sie jenen vier Hauptfarben, die schon die Sprache durch das Alter ihrer Namen vor allen andern auszeichnet, Rot, Gelb, Grün und Blau, auch in der Empfindung eine entsprechende Stellung zuzuweisen scheint. Gerade diese Stütze ist nun aber, im Lichte psychologischer Analyse betrachtet, die schwächste. Die Vorstellung, daß der Mensch seine Empfindungen nach dem subjektiven Wert benannt habe, den sie in seinem Bewußtsein besitzen, ist psychologisch unvollziehbar, weil ursprünglich überhaupt nicht Empfindungen, sondern Gegenstände benannt werden. Diese Namen der Gegenstände sind dann nachträglich erst auf die entsprechenden Empfindungen hinüber-

gewandert, wie wir das bei den Farbennamen neueren Ursprungs, Orange, Violett, Indigoblau u. dergl., noch deutlich beobachten können. Demnach werden wir annehmen dürfen, daß es sich auch bei jenen alten Farbennamen, über deren Ursprung nur zweifelhafte etymologische Vermutungen existieren, nicht anders verhalte, um so mehr, da gerade der primitive Mensch seine Empfindungen ganz und gar in den Objekten aufgehen läßt[1]. Nun gibt es, abgesehen von Weiß und Schwarz, zwei Lichtqualitäten, die in der Natur vor allen andern eine bevorzugte Rolle spielen: das Blau des Himmels und das Grün der Vegetation. Neben ihnen nimmt noch das Rot des Blutes einen vielleicht mehr durch seinen intensiven Gefühlswert als durch extensive Verbreitung ausgezeichneten Rang ein. Jener Gefühlswert selbst, den für uns heute noch der Anblick der Farbe hervorruft, mag teils in der unmittelbaren Empfindung teils in der Nachwirkung von Affekten, die mit dem Anblick des Blutes in Beziehung stehen, seinen Grund haben. Auch das Gelb gehört, als Farbe der herbstlichen Vegetation, des Wüsten- und Dünensandes usw., zu den verbreitetsten Färbungen in der Natur. Vor allem aber erscheint es uns durch seinen Kontrast zum Blau des Himmels als die Farbe der Gestirne, und dieser Kontrast hat wahrscheinlich erst dem reinen Gelb seine Stellung in der Farbenreihe gegeben[2]. Der Vorzug, den wir den Farben Rot, Gelb, Grün und Blau in dem System unserer Lichtempfindungen anweisen, wird durch diese Tatsachen vollkommen begreiflich. Sobald sich aber einmal jene vier den Wert von Hauptfarben errungen hatten, mußte den übrigen vermöge der stetigen und in sich geschlossenen Beschaffenheit des Farbensystems von selbst die Rolle von Zwischenfarben zufallen, wobei jede Zwischenfarbe, da sie nach beiden Richtungen in Farbentöne, die ihr ähnlich sind, übergeht, zugleich als Mischfarbe gedeutet werden kann.

---

[1] Für den Zustand der etymologischen Forschung im Gebiet der primitiven Farbennamen ist es charakteristisch, daß sich O. WEISE (BEZZENBERGERS Beiträge zur Kunde der indogermanischen Sprachen, Bd. 2, 1878, S. 273 ff.) auf die physiologischen Farbentheorien beruft, um die Annahme zu begründen, Rot sei die Urfarbe. G. E. MÜLLER beruft sich dann wiederum zugunsten der HERINGschen Theorie auf WEISES etymologische Forschungen (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 10, 1896, S. 74). Über den Ursprung der Farbennamen überhaupt vgl. Völkerpsychologie, Bd. 1², II, S. 543 ff.

[2] Die gelegentlich aufgetauchte Behauptung, die Farbe des Sonnenlichts selbst sei nicht weiß, sondern gelblich, hat offenbar hierin ihren Ursprung. Die Sonnenstrahlen erscheinen in der Tat im Kontrast zum Blau des Himmels gelblich. Dagegen erscheint ein durch einen Spalt in ein Dunkelzimmer geleiteter Sonnenstrahl rein weiß; ebenso das Mondlicht bei dunkelm Himmel und selbst das Sonnenlicht auf dunkelm Wolkenhintergrund. Alle diese Farbennuancen verwendet daher auch der Maler zur Kennzeichnung dieser Unterschiede, für die ihm andere als solche Kontrasteffekte nicht zu Gebote stehen. Die objektive Ursache für die Stellung von Gelb und Blau unter den Hauptfarben liegt demnach schließlich darin, daß die reine atmosphärische Luft bei diffuser Tagesbeleuchtung in dicken Schichten blau ist, d. h. daß sie die langwelligen mehr als die kurzwelligen Strahlen absorbiert.

k. Grundzüge der Stufentheorie.

In der Verwandtschaft der Anfangs- und Endfarbe des Spektrums, und in der Aufhebung je zweier Wellenlängen von hinreichender Verschiedenheit zu Weiß treten uns zwei Erscheinungen entgegen, die eine der subjektiven Empfindung, die andere den Mischungsphänomenen angehörig, die auf eine zwischen ihnen bestehende Beziehung hinzuweisen scheinen. Insofern nämlich aus der subjektiven Verwandtschaft von Rot und Violett auf die Ähnlichkeit der entsprechenden Erregungsvorgänge zu schließen ist, wird man erwarten dürfen, daß diejenigen Wellenlängen, die sich als farbige Erregungen kompensieren, auch in der nach der subjektiven Verwandtschaft entworfenen geschlossenen Farbenlinie einer maximalen Entfernung der Empfindungen entsprechen werden. Nimmt man hierzu die weitere Tatsache, daß verschiedene Wellenlängen von geringerer Schwingungsdifferenz zusammen eine Lichterregung von gleicher Qualität wie die zwischen ihnen liegende einfache hervorbringen, so ergibt sich hieraus ohne weiteres das Mischungsgesetz. Daß dasselbe geometrisch durch ein Dreieck dargestellt werden kann, ist unter diesem Gesichtspunkt lediglich eine Folge davon, daß das Dreieck die einfachste einen Raum umschließende ebene Figur ist. Daß sich aber Rot, Grün und Violett besser als andere Farben zur Konstruktion dieses Dreiecks eignen, beruht nicht sowohl auf einem spezifischen Vorzug derselben, als eben darauf, daß Rot und Violett die Anfangs- und die Endfarbe des Spektrums sind.

Alle diese Tatsachen nötigen demnach nicht im geringsten, in ähnlichem Sinne eine fest bestimmte, auf drei, zwei oder vier beschränkte Anzahl farbiger Erregungsprozesse anzunehmen, wie die farblose Lichtreizung allerdings als eine von der chromatischen verschiedene anzuerkennen ist. Insbesondere ist das Mischungsgesetz vollständig mit der jedenfalls nächstliegenden Annahme vereinbar, daß die chromatische Reizung eine in sehr kleinen, für uns nicht näher nachzuweisenden Abstufungen veränderliche Funktion der Wellenlänge des objektiven Lichtes sei, und daß sie stets zu einer das Substrat jeder Lichtreizung bildenden achromatischen Erregung hinzutrete. Die Adaptation, der Verlauf der Netzhauterregungen, die Nachbilder weisen sämtlich auf eine Scheidung der reinen Helligkeits- und der Farbenerregung hin, während diese letztere wiederum als eine in sich zusammenhängende Reihe von Farbeprozessen erscheint. Vor allem ist es hier der Anstieg der Erregung, der in seiner Dauer und in den stattfindenden Oszillationen und Remissionen als ein im wesentlichen ebenso übereinstimmender Prozeß

sich darstellt, wie er in allen diesen Beziehungen dem der reinen Helligkeitserregung als ein von ihm wesentlich abweichender gegenübersteht (vgl. oben S. 207 und Fig. 204 und 205). Auch die Beobachtungen an Farbenblinden fügen sich dieser Vorstellung, wogegen sie aus der Annahme von drei oder vier Grundempfindungen tatsächlich nicht erklärt werden können und nur dadurch scheinbar erklärt zu werden pflegen, daß man gewisse Hauptformen allein berücksichtigt und die übrigen vernachlässigt, oder auf nebenhergehende Modifikationen der normalen Empfindlichkeit, wie auf sogenannte »unvollkommene Trichromasie« oder allgemeine »Farbenschwäche« zurückführt[1]. Aber die meisten Autoren ordnen hier jeden beliebigen Fall von Farbenblindheit oder mangelhafter »Farbentüchtigkeit« der von ihnen rezipierten Komponententheorie unter. Man bezeichnet also z. B. einen Menschen im Sinne der Vierfarbentheorie als rotgrünblind, auch wenn schlechterdings nur Rot-, keine Grünblindheit bei ihm nachzuweisen ist. Ebensowenig läßt sich aus der Unterscheidung der vier Hauptfarben ein Argument für die Existenz spezifisch verschiedener Erregungen entnehmen. Gehen wir davon aus, daß Hauptfarben diejenigen Farbenpaare sind, deren subjektive Verschiedenheit ein Maximum ist, so wird die relative Lage derselben abermals durch die Verwandtschaft der beiden Endfarben des Spektrums bestimmt, während ihre absolute Lage ursprünglich auf gewisse Naturanschauungen und die an diese sich anlehnenden Bezeichnungen zurückgeht. Nach ihrem absoluten Empfindungswert ist jede Farbe einfach. Eine Farbe, die zwischen je zwei andern, nicht allzu entfernten liegt, erscheint aber beiden in gewissem Grade verwandt, und wir fassen sie daher in diesem Sinne als eine Zwischenfarbe auf. Hätten wir uns aus irgend welchen Gründen daran gewöhnt, Purpur und Orange als Hauptfarben anzusehen, so würde wahrscheinlich niemand sich bedenken, dem Rot die Rolle einer Zwischenfarbe zwischen beiden zuzuschreiben. Die Maler, die aus blauen und gelben Pigmenten das Grün mischen, sind geneigt letzteres als eine Zwischenfarbe zu betrachten, während die Physiologen es eine Hauptfarbe nennen[2]. Der Begriff der Hauptfarbe hat also nur in dem Sinne

---

[1] Über einen charakteristischen Fall solcher Art vgl. GUTTMANN, a. a. O., Bd. 41, S. 45 ff.

[2] Für den suggestiven Einfluß, den die Farbennamen auf die Stellung ausüben, die wir den einzelnen Empfindungen anweisen, scheint es mir bezeichnend, daß wir ohne Schwierigkeit Orange, Purpur, auch Indigo, Violett, wenn wir sie in reiner spektraler Sättigung für sich allein betrachten, als einfache Empfindungen anerkennen, daß wir aber Gelbgrün und Grünblau, für die uns einfache Farbennamen, wie Orange usw., nicht zu Gebote stehen, eher geneigt sind für Verbindungen derjenigen Farben zu halten, aus deren Namen ihre Bezeichnungen zusammengesetzt sind. Ebenso erkennt jedermann leicht an, daß sich zwischen Purpur und Orange, wenn man sie als Hauptfarben statuiert, das reine Rot genau in derselben Weise als Übergangsfarbe einreiht, wie zwischen Rot und Gelb

eine Bedeutung, daß er gewisse relative Unterschiedsmaxima innerhalb der in sich geschlossenen Farbenkurve andeutet. Mit den komplementären Farben fallen diese zwar nahezu, aber nicht vollständig zusammen; und zwar scheinen die Komplementärfarben überall etwas weiter als die einander entgegengesetzten Hauptfarben voneinander entfernt zu sein. Wahrscheinlich wird diese Abweichung eben durch jenen Einfluß bestimmter Naturobjekte veranlaßt, der die Wahl der Hauptfarben bestimmt hat. Denn es ist nicht zu übersehen, daß das subjektive Maß der Unterschiede unserer Lichtempfindung ein sehr unsicheres ist. Schwerlich möchte z. B. jemand imstande sein zu entscheiden, ob Purpur und Grün subjektiv verschiedener als spektrales Rot und Grün seien. Um so weniger sind wir daher berechtigt, die bei der Farbenmischung in bezug auf die kompensierende Wirkung der Farben erhaltenen Resultate durch die konventionellen vier Hauptfarben zu berichtigen.

Sucht man allen diesen Momenten im Zusammenhange Rechnung zu tragen, so ergibt sich eine Auffassung, die wir im Gegensatze zu den beiden vorhin erörterten Komponententheorien als Stufentheorie bezeichnen können. Die Grundzüge derselben lassen sich in folgenden Sätzen festhalten:

1) Wie in der nervösen Substanz überhaupt, so ist auch in den Sehelementen jede Erregung von einem Hemmungsvorgang begleitet: das psychische Äquivalent dieses Hemmungsvorganges ist die Empfindung Schwarz, die sich teils mit den Lichtreizen verbindet und dann den qualitativen Eindruck des größeren oder geringeren Dunkels bestimmt, teils bei dem Wegfall anderer Reize allein zurückbleibt. 2) Durch jede äußere Netzhautreizung werden zwei Erregungsvorgänge ausgelöst: ein achromatischer und ein chromatischer. Die chromatische Peizung ist eine Funktion der Wellenlänge und der Amplitude der Schwingungen; mit der Wellenlänge ändert sich der Farbenton, mit der Amplitude der Farbengrad oder die Sättigung. Die achromatische Reizung ist hauptsächlich von der Amplitude der Schwingungen, in geringerem Maße aber ebenfalls von der Wellenlänge abhängig, indem sie, auf gleiche objektive Energiewerte bezogen, zuerst von Rot bis Grün zu- und dann gegen das Ende des Spektrums abnimmt. 3) Bei einer und derselben Wellenlänge folgen beide Erregun-

das Orange. Bei den Farben dies- und jenseits des Grün wird es auch hier den meisten etwas schwerer, sie sich als »Urfarben« vorzustellen. Schließlich überzeugt man sich aber doch, daß das Verhältnis der Empfindungen in diesem Fall kein anderes ist. Auch trifft man nicht bloß Maler an, die in einem reinen Grün das Blau und das Gelb zu erkennen glauben, sondern selbst so aufmerksame und geübte Beobachter wie GOETHE und BREWSTER sind dieser Täuschung verfallen. Hier übt eben die Gewohnheit der Pigmentmischung jene suggestive Wirkung aus, die sonst den Farbennamen zukommt.

gen, die achromatische und die chromatische, mit wachsender Lichtstärke verschiedenen Gesetzen, indem die achromatische schon bei schwächeren Reizen beginnt und zunächst die chromatische an Intensität übertrifft. Bei mittleren Reizen nimmt sodann die relative Stärke der chromatischen Erregung zu, um bei den intensivsten abermals der achromatischen das Übergewicht zu lassen. 4) Die chromatische Erregung besteht in einem multiformen photochemischen Vorgang, der mit der Wellenlänge stufenweise veränderlich ist, indem er eine annähernd periodische Funktion derselben darstellt, deren äußerste Unterschiede einander ähnliche Wirkungen hervorbringen, während die Wirkungen gewisser zwischenliegender Wellenlängen in der Weise entgegengesetzt sind, daß sie sich, analog wie entgegengesetzte Phasen einer Schwingungsbewegung, vollständig kompensieren können. Die achromatische Erregung besteht in einem uniformen photochemischen Vorgang, der sich bei wechselnder Wellenlänge in seiner Intensität, nicht aber in seiner sonstigen Beschaffenheit ändert, und der in seinen Abstufungen überall den Veränderungen der Lichtstärke parallel geht. 5) Jeder photochemische Erregungsvorgang überdauert eine gewisse Zeit die Reizung und erschöpft die Erregbarkeit der Sinnessubstanz für den stattgefundenen Reiz. Aus der unmittelbaren Nachwirkung der Reizung erklärt sich das positive und gleichfarbige, aus der Erschöpfung das negative und komplementäre Nachbild. Die Helligkeits- und die Farbenkomponente des Nachbildes zeigen aber einen verschiedenen Verlauf, worin sich beide wiederum als abweichende Vorgänge zu erkennen geben. 6) Bei kurzdauernder Lichtreizung bieten ferner diese Prozesse, gemäß den allgemeinen Gesetzen der Nervenerregung, einen oszillierenden Verlauf, indem der die Erholung begleitende Vorgang eine neue der ursprünglichen gleiche Erregung erzeugt, die dann abermals Erschöpfung hervorruft, usw. Aus diesem periodischen Wechsel erklärt sich das oszillatorische Abklingen der Nachbilder. 7) Die Geschwindigkeit, mit der die achromatische und die chromatische Erregung nach einem kurz dauernden Reize ansteigen, ist für beide eine derart verschiedene, daß die chromatische ungefähr die doppelte Zeit braucht, um ihr Maximum zu erreichen, als die achromatische. Zugleich ist die erstere für die verschiedenen Wellenlängen eine übereinstimmende, eine Tatsache, in der sich in ganz besonderem Maße der einheitliche Charakter der Farbenprozesse zu erkennen gibt. Ebenso ist die Geschwindigkeit, mit der die Erregung sinkt, wiederum für die achromatische und die chromatische Erregung und dann in geringerem Maße für die letztere je nach der Wellenlänge eine verschiedene, indem die Farbenerregung überhaupt länger andauert, außerdem aber bei den brechbareren Strahlen etwas dauernder ist als bei den minder brechbaren. Hieraus erklärt sich

der abweichende Verlauf der Nachbilder und der unter gewissen Bedingungen zu beobachtende Farbenwechsel beim Abklingen derselben. 8) Der Verlauf der sämtlichen Erregungsvorgänge ist in der Weise von dem Belichtungszustand der Netzhaut, der »Adaptation«, abhängig, daß infolge der Dunkeladaptation die achromatische Erregbarkeit absolut gesteigert, die chromatische dagegen in dem Sinne relativ verändert wird, daß ihr Maximum allmählich von den langwelligen auf die kurzwelligen Strahlen übergeht.

Die in Fig. 221 gegebene graphische Darstellung beschränkt sich darauf, die allgemeine Abhängigkeit der beiden vorausgesetzten Erregungs-

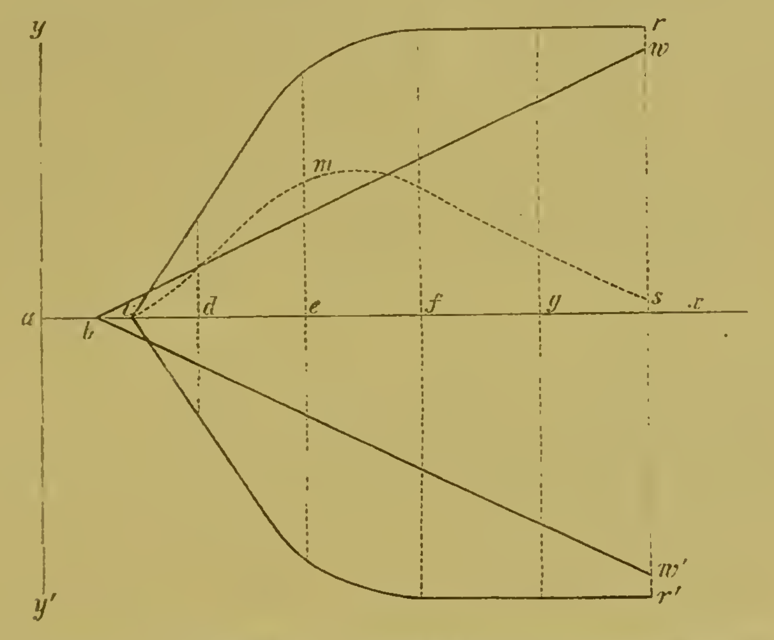


Fig. 221. Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Netzhauterregungen von der Amplitude der Lichtschwingungen.

vorgänge von der Schwingungsamplitude zu erläutern. Die wachsenden Größen der letzteren bei irgend einer monochromatischen Reizung werden durch die auf *ax* abgemessenen Abszissen versinnlicht. Wir nehmen der Einfachheit wegen an, die achromatische Erregung wachse von der Reizschwelle *b* an proportional der Lichtstärke, sie werde also durch die Gerade *bw* dargestellt. Dann liegt, da die schwächsten Reize nur farblose Erregung verursachen, die Schwelle der chromatischen Reizung bei einer etwas größeren Lichtstärke *c*. Von da an wird das weitere Wachstum der chromatischen Reizung durch die Kurve *cr* dargestellt, die anfangs sehr schnell ansteigt, dann aber bald einem Maximum zustrebt, von dem aus sie, bei fortan wachsender achromatischer Reizung, etwa der Abszissenlinie parallel bleibt. Die Abhängigkeit der Sättigung von der Reizstärke

findet demzufolge in der unterbrochen gezeichneten Kurve *cms* ihren Ausdruck, die von Null ansteigt, bei *m* ihren Höhepunkt erreicht, von wo an sie wieder sinkt, um bei den größten Lichtstärken abermals dem Werte Null nahezukommen. Denkt man sich nun weiterhin die Abszissenlinie *ax* als die Achse eines Polarkoordinatensystems im Raume, indem man sich die Ebene *ayx* um *ax* als Achse gedreht denkt, und läßt man die Drehungswinkel mit den Wellenlängen des monochromatischen Lichtes zunehmen, so erhält man zwei Scharen von Kurven *bw* und *cr*, die nach der Drehung um 360° zwei Kegeloberflächen bilden würden, deren vertikale Durchschnitte das Dreieck *bww'* und das Kurvenpaar *crr'* darstellen. Auf einem zur Achse *ax* senkrechten Querdurchschnitt, wie in *d*, *e*, *f*... wird der zu *bww'* gehörige Kegel nur gleichförmig farbloses Licht, bei *ww'* das hellste, bei *b* das dunkelste Weiß enthalten, der Gleichförmigkeit der achromatischen Reizung bei verschiedenen Wellenlängen entsprechend; der Kegel *crr'* dagegen wird auf seinem Querdurchschnitt ein Farbenkreis sein, in welchem die Farben in der in Fig. 221 dargestellten Reihenfolge und in solchem Abstande aufeinander folgen, daß komplementäre Farben einen Winkel von 180° miteinander bilden. Angenommen z. B., *bw* und *cr* bezeichneten die beiden Komponenten der Reizung durch rotes Licht, so würden *bw'* und *cr'* die entsprechenden Komponenten für Grünblau bedeuten. Wirken beide in gleicher Stärke, so werden nun *bw* und *bw'* als gleichartige Komponenten sich addieren, *cr* und *cr'* aber als entgegengesetzte sich aufheben, also bloß eine farblose Erregung zurücklassen. Selbstverständlich muß übrigens auch hier wieder das Intervall zwischen Rot und Violett durch die Mischung dieser Endfarben ausgefüllt werden, wenn man die volle Periode von 360° erhalten will[1].

Unter den oben besprochenen Theorien der Licht- und Farbenempfindung ist die von Thomas Young begründete, von Helmholtz weiter ausgebildete Dreikomponententheorie lediglich ein Ausdruck des Mischungsgesetzes; alle sonstigen Bedingungen bleiben bei ihr außer Betracht. Auch das Mischungsgesetz wird aber durch sie nicht erklärt; denn warum aus den drei Grundfarben alle Lichtempfindungen, z. B. Weiß, zusammengesetzt werden können, wird durch die Annahme von drei Fasergattungen oder Sehstoffen nicht begreiflich gemacht. Die neueren physiologisch-optischen Arbeiten, in denen das System der drei Grundempfindungen beibehalten wurde, beschränken sich daher meist auf die physikalische Seite der Frage, wo dann freilich der Nachweis genügt, daß die drei Grundfarben als objektive Lichtreize alle möglichen subjektiven Lichtempfindungen hervorbringen können[2]. Dem

[1] Vgl. zu dem Vorangegangenen meine Abhandlung: Die Empfindung des Lichts und der Farben, Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 311 ff.

[2] Vgl. König und Dieterici, Die Grundempfindungen und ihre Intensitätsverteilung im Spektrum. Sitzungsber. der Berliner Akademie, 29. Juli 1886.

Prinzip des Parallelismus der physiologischen Sinneserregungen und der Empfindungen wird zwar hier nicht ausdrücklich widersprochen, aber dasselbe wird doch stillschweigend ignoriert. Ich habe schon in der ersten Auflage des vorliegenden Werkes betont, daß dieses Prinzip zum Ausgangspunkt aller theoretischen Erörterungen dienen müsse, und, nachdem ein Jahr später HERING das nämliche Prinzip zur Grundlage seiner Theorie gemacht, ist es allmählich auch von solchen Forschern, die im übrigen an der YOUNG-HELMHOLTZschen Hypothese festhielten, insofern akzeptiert worden, als sie sich geneigt erklärten, das Weiß als eine spezielle Grundempfindung anzusehen, die stets die farbige Reizung begleite: so besonders DONDERS[1] und VON KRIES[2]. Im Anschlusse hieran hat VON KRIES verschiedene physiologische Substrate für die achromatische und die chromatische Reizung angenommen, indem er für die erstere die Stäbchen, für die letztere die Zapfen in Anspruch nimmt und dann die Erscheinungen des Sehens auf den Seitenteilen der Netzhaut und des Dämmerungssehens zusammen mit der totalen Farbenblindheit als reines »Stäbchensehen« dem normalen »Zapfensehen« mit der Mitte der Netzhaut gegenüberstellt. VON KRIES bezeichnet diese Modifikation der Dreikomponententheorie als »Duplizitätstheorie«[3]. Daß jedoch hier eine absolute Scheidung der Stäbchen- und Zapfenfunktionen nicht durchführbar ist, wurde schon oben bemerkt (S. 194). Immerhin besitzt diese Duplizitätstheorie darin ihre Berechtigung, daß sie die Helligkeits- und die Farbenempfindung auf verschiedene Prozesse zurückführt. Sie scheitert nur daran, daß sie nun in analoger Weise auch die Farbenempfindung in einige wenige scharf geschiedene Prozesse zu zerlegen sucht. Beseitigt man diesen aus der Komponententheorie übernommenen Rest, so geht sie aber unmittelbar in die Stufentheorie über.

Eine mit der Dreikomponententheorie in ihrer ursprünglichen Gestalt schwer vereinbare Tatsache ist ferner die Abhängigkeit der Sättigung einer Farbe von der Lichtintensität. So werden denn auch in den GRASSMANNschen Sätzen über Farbenmischung, an die HELMHOLTZ seine Theorie anlehnte, im Widerstreit mit der Erfahrung, Farbenton, Sättigung und Lichtintensität als voneinander unabhängige Variable betrachtet. Jene Beziehung zwischen Sättigung und Lichtstärke scheint aber zugleich darauf hinzuweisen, daß die farblose Erregung als eine selbständige, in der Retina vorhandene Komponente jeder chromatischen Reizung angesehen werden muß. Dem sucht nun die modifizierte Dreikomponententheorie (in der von DONDERS und VON KRIES angenommenen Form) Rechnung zu tragen, indem sie einräumt, das Weiß sei aus keiner Mischung von Farben abzuleiten. Dieses Zugeständnis erklärt allenfalls die Abhängigkeit der Sättigung von der Lichtstärke, es erklärt jedoch nicht, wie sich alle oder je zwei Farben zu Weiß aufheben. Dazu bedarf es vielmehr der weiteren Voraussetzung eines antagonistischen Ver-

---

[1] DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 27, 1, 1881, S. 135. Bd. 30, 1, 1884, S. 15.

[2] VON KRIES, Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse, 1882, S. 159. NAGELS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, S. 267. Nicht alle Anhänger der Dreifarbentheorie haben sich freilich zu diesen Zugeständnissen entschlossen. HELMHOLTZ bezeichnet noch in der 2. Aufl. seiner Physiolog. Optik (S. 359) die totale Farbenblindheit als »Monochromasie«; er ist der Ansicht, daß bei diesem Zustand alle Objekte farbig, wenn auch nur in einer Farbe, gesehen werden, eine Annahme, die den wohl untersuchten Fällen zirkumskripter und monokularer totaler Farbenblindheit gegenüber absolut unhaltbar ist.

[3] VON KRIES, NAGELS Handbuch der Physiol. Bd. 3, S. 184 ff.

haltens. So lange man nun auf dem Boden der Komponententheorien verbleibt, kann ein solches nur auf einen Gegensatz der Komponenten selbst bezogen werden, und dazu bedarf man mindestens zweier antagonistischer Komponentenpaare. So führt das Streben, dieser Forderung gerecht zu werden, von selbst zu der Vierkomponententheorie HERINGS. Soll dieselbe dem Zweck, aus dem sie zunächst hervorgegangen, genügen, so müssen aber je zwei der Komponenten, die sie voraussetzt, zueinander komplementär sein. Dem wird freilich in HERINGS Theorie nur gewaltsam Genüge geleistet. Da in Wirklichkeit Rot und Grün, Gelb und reines Blau nicht komplementär sind, so sieht sie sich genötigt, das Rot nach der Richtung des Purpur, das Grün nach der des Grünblau, das Blau nach der des Indigblau zu verschieben. Die vier Hauptfarben Rot, Gelb, Grün und Blau sind also nur dann gleichzeitig als Grundfarben zu verwerten, wenn man den Namen Rot, Gelb, Grün und Blau eine etwas andere Bedeutung beilegt, als sie gewöhnlich besitzen, und wenn man dem reinen Rot im physiologischen Sinne physikalisch die Bedeutung einer Mischfarbe (aus spektralem Rot und etwas Violett) gibt. Um die Analogie zwischen den farbigen und farblosen Sehstoffen zu vervollständigen, hat dann weiterhin HERING eine wesentliche Modifikation seiner ursprünglichen Theorie vorgenommen. Nachdem er nämlich früher sowohl die verschiedene Helligkeit der Farben wie die bei Änderungen der Lichtstärke eintretenden Helligkeitsänderungen auf die gleichzeitig stattfindende farblose Erregung zurückgeführt hatte, nimmt er jetzt an, daß jeder Lichtqualität eine spezifische Helligkeit zukomme, wobei Weiß, Gelb, Rot, Grün, Blau und Schwarz eine absteigende Reihe bilden[1]. Die bei irgendeinem Eindruck empfundene Helligkeit soll demnach von dem Helligkeitswert der sämtlichen in den Eindruck eingehenden Lichtqualitäten abhängen. Auf diese Weise erscheinen nunmehr farblose und farbige Lichtarten einander vollständig gleichartig, abgesehen freilich von der oben berührten Verschiedenheit des Mischungseffektes von Schwarz und Weiß gegenüber dem Mischungseffekt der Komplementärfarben. Aus dieser Annahme würde aber wiederum folgen, daß bei Farbenblindheit die Helligkeitsverteilung im Spektrum stets von der des normalen Auges abweichen und genau dem Ausfall derjenigen Helligkeit, die der nicht empfundenen Farbe zukommt, entsprechen müßte. Dieser Folgerung widerstreiten zahlreiche Beobachtungen an total Farbenblinden, wo die Helligkeitsverteilung im Spektrum vollständig die normale geblieben ist, und wo, falls monokulare oder zirkumskripte Farbenblindheit besteht, die Helligkeit farbiger Objekte auf farbenblinden und farbentüchtigen Stellen vollkommen gleich geschätzt wird[2]. Nicht weniger bilden viele Fälle partieller Farbenblindheit ein unübersteigliches Hindernis für diese Theorie. Insbesondere fallen hier jene Fälle monokularer partieller Farbenblindheit ins Gewicht, bei denen mit Sicherheit nachgewiesen werden kann, daß der Ausfall entweder überhaupt nur eine Farbe, oder doch jedenfalls nicht die Glieder eines HERINGschen Urfarbenpaares oder überhaupt zwei zueinander

[1] HERING, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 35, 4, 1889, S. 63 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 47, 1890, S. 417 ff. Bd. 49, 1891, S. 463 ff.

[2] Vgl. A. KÖNIG, Über den Helligkeitswert der Spektralfarben, S. 70 ff. Daß die bei Mischungsversuchen gewonnenen Ergebnisse, die für die unabhängigen Helligkeitsvalenzen der einzelnen Farben beigebracht wurden, auch in andern Beobachtungen nicht bestätigt werden konnten, ist schon oben (S. 193 f.) bemerkt worden.

komplementäre Farben trifft[1]. Gleichwohl kann der Hypothese HERINGS das Verdienst nicht abgesprochen werden, daß sie in höherem Grade als die Dreikomponententheorie bemüht ist, den Forderungen, die sich von seiten der subjektiven Tatsachen des Sehens erheben, gerecht zu werden. Auch den Begriffen der »Assimilation« und »Dissimilation« wird man, trotz der hypothetischen Natur der hierbei angenommenen Stoffwechselvorgänge, für den Gegensatz von Schwarz und Weiß insofern eine gewisse Berechtigung zugestehen können, als in der Tat die Annahme nicht unwahrscheinlich ist, dieser Gegensatz sei ein Spezialfall des in der Mechanik des Nervensystems eine so wichtige Rolle spielenden Nebeneinander regenerativer und konsumtiver oder, wie wir es wohl besser rein phänomenologisch ausdrücken, hemmender und erregender Prozesse (vgl. Bd. 1, S. 122f.). Das Schwarz erscheint so als das der Sehsinnsubstanz, die ja eine vorgeschobene Provinz des zentralen Nervensystems selbst ist, eigene Symptom regenerativer Hemmung, das Weiß als das konsumtiver Erregung. In der Anerkennung dieses qualitativen Gegensatzes bringt die Psychophysik der Lichtempfindungen mit der erforderlichen Beschränkung auf die subjektive Seite der Lichterscheinungen den Grundgedanken der GOETHEschen Farbenlehre wieder zu Ehren. Dagegen liegt nicht der geringste Grund vor, diesen Gegensatz nun auch auf die Farben zu übertragen, die vielmehr sämtlich Nebenerscheinungen der konsumtiven Erregung, in diesem Sinne also dem Weiß verwandt sind, und nur in dem Grade der Erregung eine Abstufung zeigen, die von dem gleichzeitigen allgemeinen Erregungszustand, der sogenannten Adaptation der Netzhaut, abhängt (PURKINJEsches Phänomen).

Den Schwierigkeiten der Komponententheorien scheint mir nun die oben dargelegte Stufentheorie zu entgehen, indem sie nicht nur über die sämtlichen auf S. 243 bezeichneten Punkte widerspruchslose Rechenschaft zu geben sucht, sondern auch mit den sonstigen Unterschieden zwischen Helligkeitserregung und Farbenerregung in bezug auf Verlauf, Nachbildwirkungen usw. in besserer Übereinstimmung steht. Wenn gegen dieselbe der Einwand erhoben wurde, sie sei unvereinbar mit der Annahme eines photochemischen Ursprungs der Lichtreizung[2], so ist dies schwerlich begründet. Am nächsten dürfte es doch liegen, in diesem Fall an die färbenden Wirkungen des Lichtes auf komplexe organische Verbindungen zu denken. Hier wissen wir aber, daß z. B. die Stoffe des Chlorophyllkorns die verschiedensten Färbungen annehmen können, denen natürlich Zersetzungsprozesse verschiedener Art entsprechen werden. So ist es denn auch vollkommen denkbar, daß in der Retina ein komplexer Stoff existiert, in welchem durch das Licht Spaltungen eingeleitet werden, die sich in kurzen Intervallen mit der Wellenlänge ändern und Produkte zurücklassen, die sich alsbald miteinander verbinden, um entweder ihre farbenerregenden Wirkungen zu kombinieren oder zu kompensieren, ähnlich wie zwei farbige Körper sowohl farbige wie farblose Verbindungen miteinander erzeugen können. Ich leugne nicht, daß diese Vorstellung in gewisser Weise wieder auf die Annahme von Sehstoffen zurückführt; aber ich leugne, daß uns Anhaltspunkte zur Annahme einer irgend begrenzten Zahl und namentlich solcher Sehstoffe vorliegen, die in der »Sehsinnsubstanz« prä-

[1] Vgl. oben S. 238 f.
[2] VON KRIES, Die Lehre von den Gesichtsempfindungen, S. 159.

formiert sind, und nicht vielmehr durch die Lichtreizung selbst erst gebildet werden, um dann teils Mischungseffekte, teils antagonistische Wirkungen hervorzubringen[1]. Überdies wird durch die subjektive Analyse unabweislich die Annahme gefordert, daß die Farbenempfindung eine periodische Funktion sei, insofern die photochemischen Wirkungen der kürzesten Wellen denen der längsten wieder ähnlich werden, und indem innerhalb dieser Reihe je zwei Vorgänge sich antagonistisch verhalten. Es ist aber einleuchtend, daß sich auch dieser Annahme die Voraussetzung einer unbestimmt großen Zahl von der Wellenlänge abhängiger Spaltungsprodukte besser fügt, als die Beschränkung auf drei, vier oder gar zwei farbige Sehstoffe[2].

Von Bedeutung für die Entscheidung zwischen den verschiedenen Theorien sind schließlich auch die Veränderungen der Licht- und Farbenempfindlichkeit auf den Seitenteilen der Netzhaut, die überdies, wie wir später (in Kap. XIV) sehen werden, für die Theorien der räumlichen Gesichtswahrnehmungen ein großes Interesse besitzen. Diese Veränderungen zerfallen wieder in die Zunahme der Empfindlichkeit für Helligkeiten und in die oben näher beschriebene Abnahme der Farbenempfindlichkeit (Bd. 1, S. 488 ff. und oben S. 184 ff.). Beide Veränderungen verlangen offenbar verschiedene Erklärungsgründe. Daß die erstgenannte nicht auf Abweichungen in der Beschaffenheit der reizbaren Sehsubstanzen zurückzuführen ist, wurde schon erörtert (S. 188). Man könnte daher vielleicht daran denken, eine von HELMHOLTZ aufgestellte Hypothese hier heranzuziehen. Um nämlich die unverhältnismäßig rasche Abnahme der Sehschärfe in den Seitenregionen und zugleich die Empfindlichkeit jedes Netzhautpunktes für Licht zu erklären, nimmt HELMHOLTZ ein feines anastomosierendes Fasernetz an, das sich über die ganze Netzhaut ausbreite und sowohl mit den empfindenden Elementen wie mit den Optikusfasern in Verbindung stehe[3]. Doch abgesehen davon, daß es mißlich ist, bei einem in seinen feinsten Details so sehr durchforschten Organ anatomische Substrate vorauszusetzen, von denen nichts nachzuweisen ist, scheint es mir, daß durch die früher (Bd. 1, S. 490) als wahrscheinlich hervorgehobene katoptrische Natur der Stäbchenaußenglieder alle hier vorliegenden Verhältnisse weit einfacher erklärt werden. Indem die Stäbchen als katoptrische Apparate die durch die Sehzellen hindurchgegangenen Strahlen nochmals auf jene zurückwerfen, bewirken sie eine Ausbreitung und eine Verstärkung der Lichterregungen, welche letztere schon durch die infolge der dioptrischen Einrichtungen des Auges entstehende Abnahme der Helligkeit auf den Seitenteilen gefordert ist[4]. Anders verhält es sich mit der im Gegensatz zur Zunahme der Helligkeitsempfindung auf den Seitenteilen eintretenden Abnahme der Farbenempfindung. Die Art der hier zu beobachtenden Änderungen läßt sich vom Standpunkte der Dreikomponententheorie aus durch die Annahme einer bloßen Änderung in dem quantitativen Verhältnis der drei Endorgane nicht erklären. Man machte daher die Hilfsannahme einer gleichzeitigen qualitativen Änderung derselben,

[1] Vgl. über die mutmaßliche Analogie der Netzhauterregung mit der Farbenphotographie mittels Körperfarben oben Bd. 1, S. 518 ff.

[2] Vgl. Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 371 ff.

[3] HELMHOLTZ, Physiologische Optik², S. 264.

[4] Vgl. hierzu A. KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 5, 1889, S. 491 ff.

durch die sich die drei Sehstoffe mit der Annäherung an die Peripherie immer ähnlicher werden sollten[1]. Damit ist eigentlich schon das Prinzip der Komponententheorien (ähnlich wie durch die analoge Hilfsannahme der »unvollkommenen Trichromasie«) aufgegeben; denn wenn es die verschiedensten Übergangsstufen zwischen den Sehstoffen geben kann, so gibt es eben überhaupt keine fest begrenzte Zahl farbiger Sehstoffe mehr, sondern diese bilden eine aus unbestimmt vielen Abstufungen bestehende Reihe, wie es die Stufentheorie behauptet. Ebenso sind aber die stattfindenden Veränderungen mit der Vierkomponententheorie nicht vereinbar. Auch sie würde, wenn sie die in Fig. 200 (S. 185) dargestellte Lage der komplementären Isochromen erklären wollte, eine qualitative Änderung der Sehstoffe annehmen müssen, die überdies für je zwei zusammengehörige, Rot und Grün, Gelb und Blau, keineswegs gleichmäßig erfolgte.

Infolge der eigentümlichen Auffassung, welche die Vierkomponententheorie von den entgegengesetzten, dissimilatorischen und assimilatorischen Sehprozessen entwickelte, haben insbesondere auch noch die Kontrast- und die Nachbilderscheinungen innerhalb der verschiedenen Theorien abweichende Deutungen erfahren. Auf die Kontrasttheorien soll unten eingegangen werden, da der Kontrast wegen seiner Beziehung zu andern analogen Erscheinungen zum Teil über das Gebiet der reinen Lichtempfindung hinausreicht. Die Nachbilder dagegen sind ein wesentlich optisches Phänomen. Sie wurden von der älteren Theorie als »Ermüdungserscheinungen« aufgefaßt, während Hering in ihnen gegensätzliche Erregungen erblickt, die dem allgemeinen Gegensatz der Sehprozesse entsprächen. Nun ist gewiß nicht zu bestreiten, daß die sogenannte »Ermüdungstheorie« nur auf einen Teil der Erscheinungen anwendbar ist, und daß auch bei diesem der Ausdruck »Ermüdung« hier so wenig wie anderwärts über das Wesen der Vorgänge irgend einen Aufschluß gibt. Was man Ermüdung nennt, ist, nicht anders als wie bei sonstigen nervösen Prozessen, ein bestimmtes Stadium des Erregungsvorganges, welchem ein entgegengesetztes Stadium der Fortdauer der ursprünglichen Erregung oder auch der oszillatorischen Wiederholung derselben vorangeht. Immerhin wird man sagen dürfen, daß sich auch in dieser Beziehung die Netzhaut durchaus ebenso verhält wie andere nervöse Apparate, nur daß bei ihr der Teil des Erregungsverlaufs, der der sogenannten Ermüdungsphase entspricht, eigentümliche, von der besonderen Funktionsweise abhängige Erscheinungen darbietet. Für die wesentliche Übereinstimmung dieses späteren Stadiums mit sonstigen Ermüdungserscheinungen bildet dann aber allerdings jene Abhängigkeit der Entstehung komplementärer Nachbilder von der Existenz reagierenden Lichtes, die in der Gültigkeit des Fechner-Helmholtzschen Satzes (S. 211) eingeschlossen liegt, einen entscheidenden Beweis.

Die aus der subjektiven Analyse der Empfindungen abgeleitete Sonderstellung der farblosen Erregung gegenüber der Gesamtheit der Farben dürfte schließlich mit den früher (Bd. 1, S. 445 ff.) berührten Tatsachen der Entwickelung der Lichtempfindungen wohl übereinstimmen. Diese Entwickelung, in der aller Wahrscheinlichkeit nach die Empfindung von Hell und Dunkel den Farbenempfindungen vorangeht, verlangt einen Prozeß der farb-

[1] A. Fick, Pflügers Archiv, Bd. 47, 1890, S. 247 ff. Helmholtz, Physiologische Optik[2], S. 372 ff.

losen Erregung, der nicht erst aus einer Vermischung von Farben entspringt. Dagegen wird man nicht umgekehrt sagen dürfen, daß auch die Farbenempfindung einen Prozeß verlange, der unabhängig stattfinden könne. Denn es ist nicht anzunehmen, daß sie jemals für sich allein vorkommt; jedenfalls ist sie bei unserm eigenen Sehen stets von der farblosen Empfindung begleitet. Wir haben darum aber auch kein Recht, etwa für die farbige und für die farblose Erregung absolut verschiedene Sehsubstanzen vorauszusetzen, sondern genetisch verständlicher scheint die Annahme, daß in gewissen morphologischen Elementen die bisher nur zur farblosen Erregung geeigneten photochemischen Stoffe eine Beschaffenheit annehmen, wodurch sie gleichzeitig zur Erzeugung von Farben geeignet werden. Rücksichtlich der Bedingungen, die diese Entwickelung bestimmten, sind wir selbstverständlich auf Vermutungen beschränkt. Da der Tastsinn als der gemeinsame Ausgangspunkt aller speziellen Sinnesentwickelungen erscheint, so liegt der Gedanke nahe, die Temperaturempfindungen der Haut mit den Lichtempfindungen in eine genetische Beziehung zu bringen. Zu einer Ausführung weiterer Analogien zwischen beiden Empfindungsqualitäten, wie eine solche PREYER[1] versucht hat, bieten sich aber allzuwenige Anhaltspunkte, und die früher (S. 13 ff.) erörterten speziellen Verhältnisse des Temperatursinns dürften diese Vermutung kaum unterstützen. Nicht minder widerspricht dem die ebenfalls schon erwähnte Tatsache, daß augenlose oder geblendete Tiere sich für Hell und Dunkel und sogar für starke Farbenunterschiede, wie Rot und Blau, empfindlich zeigen, ohne daß gleichzeitig bestimmte Temperaturunterschiede mit einwirken. Das lichtempfindliche Organ ist aber in solchen Fällen nachweislich die allgemeine Körperoberfläche[2].

GRANT ALLEN hat erörtert, daß bei den Insekten die Aufsuchung der in Blüten enthaltenen Nahrung, wie sie die Farbenmannigfaltigkeit der Blumen verstärkt habe, so wiederum durch den Kampf ums Dasein die Entwickelung des Farbensinns befördert haben werde[3]. Ähnlich hat man vermutet, daß die Unterscheidung verschieden gefärbter Objekte bei den lebenden Wesen feiner geworden sei, weil sie ihnen nützlich war. Den letzten Grund des Vorgangs wird man aber hier wiederum nicht in dem Kampf ums Dasein sehen können, da eine Farbenunterscheidung schon existieren mußte, ehe sie nützlich werden konnte. Im Widerspruch mit der Annahme GRANT ALLENS fand überdies V. GRABER, daß die Tiere, wenn man ihnen zwischen verschiedener farbiger Beleuchtung die Wahl läßt, im allgemeinen nicht die Farbe einzelner auffallend gefärbter Objekte, sondern diejenige ihres allgemeinen Gesichtsfeldes, so also z. B. die fliegenden Tiere das Blau oder Weiß, bevorzugen[4]. Auf Grund der Sprachvergleichung hat endlich LAZARUS GEIGER sogar angenommen, die feinere Entwickelung des Farbensinns sei ein verhält-

---

[1] PREYER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 25, 1881, S. 78 ff. Wenn derselbe vollends die Farben mit den Temperatur-, das Farblose mit den Druckempfindungen in Parallele bringt, so ist dies eine Hypothese, für die keine einzige wirkliche Tatsache spricht, und die sich nur auf unzureichende Analogien stützt.

[2] V. GRABER, Grundlinien zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinns der Tiere, 1884, S. 293 ff. Vgl. auch oben Bd. 1, S. 445.

[3] GRANT ALLEN, The colour-sense, its origin and development. 1879. Deutsche Ausg. von E. KRAUSE. 1880.

[4] V. GRABER, a. a. O. S. 266 ff. Vgl. oben Bd. 1, S. 428.

nismäßig spätes Produkt menschlicher Entwickelung, da den älteren Sprachformen die Bezeichnungen für gewisse Farben fehlen[1]. Die Hellenen zur Zeit des Homer würden hiernach z. B. zwar Rot und Grün, aber noch nicht Blau empfunden haben, und die Entwickelung der Empfindungen Orange, Indigblau, Violett würde sogar erst den allerletzten Jahrhunderten angehören. Diese Hypothese übersieht, daß die Wahl sprachlicher Bezeichnungen, wie oben erörtert wurde, überall von Naturobjekten und von praktischen Bedürfnissen bestimmt gewesen ist, die über die Existenz der Empfindungen selber nichts entscheiden. Noch heute findet sich bei Naturvölkern eine verhältnismäßige Armut in der sprachlichen Unterscheidung der Farben, ohne daß sich bei genauerer Prüfung eine generelle Verbreitung partieller Farbenblindheit herausstellt[2]. Ja selbst bei Tieren ist nicht nur die Unterscheidung von Hell und Dunkel, sondern auch eine meist mit bestimmter Bevorzugung verbundene und bei einzelnen Arten sichtlich verhältnismäßig feine Unterscheidung von Farbenstufen weit verbreitet[3]. So unzweifelhaft es also ist, daß sich die Farbenempfindungen entwickelt haben, so unwahrscheinlich ist es, daß sich diese Entwickelung seit der Zeit der Existenz des Menschen bei diesem in irgend nennenswerter Weise verändert hat.

l. Theorie der Kontrasterscheinungen.

Eine Reihe von Erscheinungen bleibt noch übrig, über welche die oben besprochenen Theorien keine zureichende Rechenschaft geben, und offenbar deshalb nicht geben können, weil hier außer den Bedingungen der Lichterregung noch andere Momente, die dem allgemeineren Bereich psychischer Wechselbeziehungen angehören, hereinspielen: die Kontrasterscheinungen. Dabei muß jedoch von vornherein betont werden, daß sich die beim Gesichtssinn unter diesem Namen zusammengefaßten, oben (S. 218 ff.) beschriebenen Phänomene mit dem was in sonstigen Fällen, z. B. bei den Gewichtsschätzungen (S. 29) oder bei den räumlichen und zeitlichen Vorstellungen (Abschn. III), als »Kontrast« bezeichnet wird, jedenfalls nur teilweise berühren[4]. Auch ist die größere Mannigfaltigkeit der

[1] L. Geiger, Zur Entwickelungsgeschichte der Menschheit. 1871, S. 56 ff. Vgl. zu dieser Frage Völkerpsychologie, Bd. 1, II², S. 543 ff.

[2] Grant Allen, a. a. O. H. Magnus, Untersuchungen über den Farbensinn der Naturvölker. 1880. R. Andree, Zeitschrift für Ethnologie, Bd. 10, S. 323. A. S. Gatchet, Americ. Naturalist, vol. 13, p. 475.

[3] V. Graber, a. a. O. S. 26, 222 ff. Vgl. oben Bd. 1, S. 442.

[4] Besser ganz aus dem Spiele bleiben muß bei diesen Kontrasterscheinungen im Gebiet der Empfindungen und Vorstellungen überhaupt der »Kontrast der Gefühle«, wenn es auch bei ihm, wie die gemeinsame Unterordnung unter den Begriff des Gegensatzes verrät, an Beziehungen nicht ganz fehlt. Mit Recht hat übrigens W. Wirth (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 18, 1898, S. 49 ff.) darauf hingewiesen, wie die Anwendung des Wortes »Kontrast« auf so mannigfaltige Erscheinungen den Übelstand mit sich führt, daß man die Tatsachen selber oft mehr, als es berechtigt ist, in eine innere Beziehung zu bringen sucht.

bei den Lichtempfindungen obwaltenden Bedingungen wohl die Ursache, daß die Theorien über Licht- und Farbenkontrast im ganzen noch weit mehr divergieren als die allgemeinen Theorien der Lichtempfindung, indem man in der Regel nur eine Seite dieser Erscheinungen beachtet, und die andere entweder ignoriert oder durch irgendwelche Hilfshypothesen zu eliminieren sucht. Auf diese Weise stehen sich namentlich die zuerst von PLATEAU aufgestellte, dann von BRÜCKE, HERING u. A. verteidigte physiologische, und die hauptsächlich von HELMHOLTZ durchgeführte sogenannte »psychologische Theorie« des Kontrastes gegenüber.

Die physiologische Kontrasttheorie führt den Simultankontrast auf eine antagonistische Erregung zurück, die irgend ein Lichtreiz stets in seiner Umgebung hervorrufe. Sie bringt daher den Kontrast in nächste Beziehung zu den negativen und komplementären Nachbildern, und sieht in ihm eine Irradiation der Erregung, bei der aber entweder von Anfang an oder doch nach einer sehr kurzen Zwischenzeit die antagonistische Wirkung überwiege. Die physiologische Theorie stützt sich dabei hauptsächlich auf die Erscheinungen des Randkontrastes. Überall wo eine weitere Ausbreitung der Erscheinung stattfindet, ist sie geneigt, dies auf Nachbildphänomene zurückzuführen, die leicht bei längerer Betrachtung der Kontrastobjekte und infolge von Augenbewegungen in der Nachbarschaft der induzierenden Fläche entstehen können. Daß solche Nachbildwirkungen in der Tat nicht selten in den älteren Versuchen eine Rolle spielten, lehrt denn auch der leicht zu führende Nachweis, daß manche der beschriebenen Erscheinungen, die auf eine weitere Ausbreitung der Kontrastwirkungen oder auf psychologische Momente bezogen wurden, bei starrer Fixation verschwinden, sich also wirklich mit Wahrscheinlichkeit als Nachbildwirkungen erweisen[1]. Die sogenannte »psychologische Theorie« dagegen legt gerade auf jene außerhalb der Sphäre des Randkontrastes auftretenden Erscheinungen sowie auf die Besonderheiten, die sich beim MEYERschen Versuch, bei den Erscheinungen der rotierenden Scheiben darbieten, und auf die Bedingungen, unter denen bei diesen Versuchen der Kontrast verstärkt oder beseitigt wird, besonderes Gewicht, indem sie zugleich den psychischen Charakter dieser Bedingungen betont. Dabei hat dann freilich diese psychologische Theorie ihren besonderen Charakter durch die herrschende vulgäre Reflexionspsychologie gewonnen, deren man sich bei der speziellen Interpretation der Erscheinungen bediente. Hier sind es nämlich stets Urteile, die nicht einmal einfacher Art, sondern meist auf ziemlich verwickelte Reflexionen und

---

[1] E. HERING, Zur Lehre vom Lichtsinn, II und III. Wiener Sitzungsber. Bd. 68 (3). 1873, S. 186, 229 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 40, S. 159. Bd. 41, 1887, S. 1 ff.

Schlüsse gegründet sind, welche als die Ursachen der Kontrasterscheinungen betrachtet werden. Nicht nur Vergleichungen mit gleichzeitig gegenwärtigen Reizen, sondern auch Erinnerungen an frühere Eindrücke sollen dabei eine wesentliche Rolle spielen, und in dem Umstande, daß uns bei schwachen Reizen die Erinnerung leichter täuschen könne, als bei intensiveren, soll daher speziell der begünstigende Einfluß der schwächeren Helligkeits- und Sättigungsgrade bestehen, wie er bei MEYERs Versuch und an den Schatten und rotierenden Scheiben zu beobachten ist[1]. Die innere Unwahrscheinlichkeit, um nicht zu sagen Unmöglichkeit dieser Theorie wurde dann wiederum von den Anhängern der physiologischen Kontrasterklärung als eine entscheidende Instanz gegen jede Art psychologischer Erklärung überhaupt angesehen, da für sie die Begriffe »Urteilstheorie« und »psychologische Theorie« schlechthin zusammenfielen, eine Verwechselung, die bei den in der Physiologie im allgemeinen herrschenden psychologischen Vorstellungen nicht befremden kann. Denn nach diesen sind eben psychische Vorgänge und logische Reflexionen im wesentlichen identische Begriffe[2]. Da nun noch überdies der Kritik jener »Urteilstäuschungen« der Umstand zu Hilfe kam, daß in einzelnen Fällen, wie namentlich bei den farbigen Schatten, gewisse auf solche Täuschungen bezogene Färbungen verschwinden, wenn Augenbewegungen vermieden werden, so galt damit die physiologische Theorie manchen Beobachtern für erwiesen, um so mehr, als man den Erscheinungen meist von vornherein mit der Absicht gegenübertrat, sie auf einheitliche, mit sonstigen theoretischen Voraussetzungen übereinstimmende Ursachen zurückzuführen.

Nun ist es aber kaum gerechtfertigt, wenn man einem Gebiet von Erscheinungen wie diesem von vornherein mit der Alternative gegenübertritt: entweder physiologisch oder psychologisch, ein drittes gibt es nicht. Diese Alternative ist hier um so weniger zulässig, weil bei solchen relativ elementaren Bewußtseinserscheinungen eben dieses Dritte, nämlich sowohl physiologisch wie psychologisch, im allgemeinen wirklich vorauszusetzen ist. Bei dem WEBERschen Gesetze z. B. schlägt die psychologische Deutung die rein physiologische auch deshalb, weil sie nebenbei die physiologische nicht ausschließt, indem sie der doppelseitigen Natur eines solchen einfachen Apperzeptionsvorganges wie der Vergleichung von Empfindungsintensitäten gerecht zu werden sucht (Bd. 1, S. 632 f.). Bei dem Kontrast sind wir aber in noch höherem Grade auf die Beachtung der

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik [1], S. 396 ff. [2] S. 543 ff.

[2] HERING, Über den Begriff Urteilstäuschung in der physiologischen Optik, PFLÜGERS Archiv, Bd. 41, 1887, S. 91.

doppelseitigen Natur der Vorgänge hingewiesen, weil hier schon die Erscheinungen selbst, wenn man sie unbefangen und nicht von vornherein unter den Leitmotiven irgendeines Dogmas prüft, von zwiespältiger Natur sind, wie dies die auffallenden Unterschiede der beiden Kontrastformen zeigen, die wir oben als den »Kontaktkontrast« und den »Florkontrast« einander gegenübergestellt haben. Hier könnte es daher sehr wohl sein, daß bei der einen dieser Kontrastformen die physiologischen, bei der andern die psychologischen Einflüsse dominieren. In der Tat wird diese von vornherein durch die eigentümlichen Unterschiede der Erscheinungen nahegelegte Vermutung durch die nähere Verfolgung ihrer abweichenden Gesetzmäßigkeiten bestätigt.

Betrachtet man nämlich zunächst den Randkontrast, so hebt sich dieser dadurch sofort von den übrigen Kontrasterscheinungen ab, daß er, auch wenn man Nachbildwirkungen durch möglichst kurz dauernde Einwirkung der Reize und sichere Fixation ausschließt, deutlich mit der Stärke der induzierenden Eindrücke an intensiver wie extensiver Größe zunimmt. Jede Netzhauterregung scheint also in ihrer nächsten Umgebung eine antagonistische Kontaktwirkung rein physiologischer Art hervorzurufen. Wenn wir uns des Zusammenhangs der Netzhautelemente erinnern, so liegt die Annahme nahe, daß jene horizontalen Zellen, deren Ausläufer wahrscheinlich Verbindungen zwischen den benachbarten Sehzellen vermitteln, die Substrate dieser unmittelbaren Kontaktwirkungen seien (Bd. 1, Fig. 141, S. 484). Physiologische Analogien solcher antagonistischer Kontaktwirkungen begegnen uns auch sonst innerhalb der zentralen Substanz, speziell in der Hirnrinde, zu der ja die Retina nach Struktur und Entwickelung gehört. Viele der zentralen Erscheinungen, die dem Gebiet zirkumskripter Steigerungen der Erregbarkeit angehören, scheinen darauf hinzuweisen, daß eine lokal beschränkte Reizung zentraler Substanz einen Zufluß disponibler Stoffe aus den Elementen der Nachbarschaft zur unmittelbaren Folge hat, so daß der Erregungsherd von einem Hof verminderter Erregbarkeit umgeben ist[1]. Übertragen wir dies auf die Netzhaut, so wird hier der Hof, der die gereizte Stelle umgibt, in dem Sinne verändert werden, daß seine Reizbarkeit für die Eindrücke, die dem Erregungsherd selbst angehören, abnimmt, und demnach für die entgegengesetzten relativ zunimmt, so daß er, wenn ihn von außen reagierendes Licht trifft, in der kontrastierenden Farbe und Helligkeit erscheint. Insofern ist also der Randkontrast eine den negativen und komplementären Nachbildern verwandte Erscheinung, und wie diese ist er an das Vorhandensein reagierenden Lichtes gebunden. Er ist aber ein in sehr

[1] Vgl. oben Bd. 1, S. 135, und unten Abschn. V die Theorien von Traum und Hypnose.

kurzer Zeit nach Beginn der Reizung eintretendes Phänomen, weil sofort mit dem Eintritt des Reizes auch jene zersetzende Wirkung der Erregung und damit deren Rückwirkung auf die Umgebung der erregten Stelle entsteht.

Von diesen für die Erklärung des Randkontrastes nahe gelegten, rein physiologischen und ausschließlich den peripheren Mechanismus der Reizung betreffenden Annahmen nötigt nun der Kontaktkontrast in der weiteren Bedeutung dieses Wortes kaum abzugehen, da die unter diesem Namen zu begreifenden diffuseren Wirkungen auf eine außerhalb der Randzone liegende Umgebung bei fester Fixation außerordentlich schwach sind, so daß sie sich wohl als spurweise Fortsetzungen der nächsten physiologischen Randwirkungen deuten lassen. Ganz anders verhält es sich jedoch mit der dritten Form, mit dem Florkontrast; und im Hinblick auf die Eigenschaften, die dieser bietet, wird man dann freilich auch nicht umhin können, schon bei dem sonst von Florwirkungen freien Kontaktkontrast Anfänge ähnlicher Erscheinungen anzunehmen. Der Florkontrast unterscheidet sich nämlich 1) hinsichtlich seiner Ausbreitung über die reagierende Fläche, 2) in der Gesetzmäßigkeit, der er mit der zunehmenden Intensität oder Sättigung des induzierenden Reizes folgt. Natürlich kann es sich hier übrigens stets nur um solche Erscheinungen des reinen Florkontrastes handeln, bei denen durch die kurze Dauer der Reizwirkung und durch die festgehaltene Fixation Nachbilder ausgeschlossen sind, wie das besonders in den in Fig. 219 (S. 234) schematisierten Scheibenversuchen zutrifft. Nun steht ein auf solche Weise beobachteter Florkontrast (dieser Ausdruck in dem oben festgestellten weiteren Sinne genommen) unter völlig entgegengesetzten Bedingungen wie der Randkontrast. Steigt dieser mit der Intensität des induzierenden Reizes, so erreicht jener bei einer sehr geringen Stärke desselben sein Maximum, um dann allmählich wieder zu sinken. Dieser Unterschied nimmt ferner zu, wenn man die Florwirkung durch Verwischung der Konturen steigert. Diese Verwischung, wie man sie z. B. durch die Betrachtung der Objekte mit schwach zerstreuenden Linsen oder durch die Bedeckung mit durchscheinendem Papier erzeugt, ist aber nicht, wie man denken könnte, eine Folge der nun diffuser werdenden Wirkung des Randkontrastes. Denn die Steigerung und Ausbreitung des Kontrastes steht bei vorsichtiger Anstellung des Versuchs in gar keinem Verhältnis zu der Ausdehnung des Zerstreuungskreises. Wenn dieser z. B. höchstens 3 mm beträgt, so kann er nicht wohl direkt eine sich auf 4—5 cm erstreckende Kontrastfärbung verstärken. Überdies ist der wirklich zu beobachtende Randkontrast gerade in diesen Fällen sehr schwach oder ganz verschwindend, so daß der Zerstreuungskreis nicht sowohl den Kontrastring als vielmehr die Grenzen

der induzierenden und reagierenden Fläche selbst trifft, die hier in einer schmalen Zone ineinander fließen.

Dieser Gegensatz in den Bedingungen und in den Verlaufsgesetzen des Flor- und des Randkontrastes bei steigender Sättigung der Farben läßt sich kaum anders als in dem Sinne deuten, daß beide Erscheinungen wesentlich verschiedenen Ursprungs sind, indem der Randkontrast auf ausschließlich physiologische, der Florkontrast mindestens auf teilweise mitwirkende psychologische Momente zurückführt, wobei natürlich nicht ausgeschlossen ist, daß auch diese physiologisch fundiert sein mögen. Wie läßt sich nun aber in diesem Fall, wo es sich doch anscheinend um reine Empfindungen handelt, eine psychologische Wirkung denken? Mit welchen allgemeinen psychologischen Tatsachen läßt sie sich in Zusammenhang bringen? Von Reflexionen und Urteilen, wie sie die fälschlich sogenannte »psychologische« oder, wie man sie zutreffender nennen sollte, die »logische« Theorie, annimmt, kann natürlich absolut keine Rede sein. Treten doch die Erscheinungen hier mit ebenso zwingender Gewalt auf wie bei andern Empfindungsinhalten. Es kann sich also nur um assoziative Wirkungen handeln, denen, namentlich wo sie in simultanen Verbindungen oder in Wechselwirkungen psychischer Elemente bestehen, auch sonst vielfach ein dem unmittelbaren sinnlichen Eindruck durchaus entsprechender Effekt zukommt. Um der näheren Beschaffenheit dieser simultanen Assoziationswirkungen näher zu kommen, sei hier zunächst an zwei, ebenfalls dem Gebiet des Gesichtssinnes angehörige Erscheinungen analoger Art erinnert, die sich freilich dadurch unterscheiden, daß sie räumliche Eindrücke, nicht Helligkeiten und Farben betreffen. Wenn man von zwei Sektoren von genau gleicher Größe den einen zwischen zwei andern einfügt, die um ein weniges größer, den andern zwischen zwei, die ebenso um ein eben merkliches kleiner sind, so erscheinen die zwei gleichen Sektoren nunmehr verschieden, indem sich jeder seiner Umgebung angleicht. Dieser Versuch gelingt aber nur, wenn die Unterschiede der Sektoren sehr klein sind. Nimmt man dieselben größer, so verschwindet zuerst die angleichende Wirkung, und dann tritt, wenn man noch weiter geht, das Gegenteil, nämlich eine kontrastierende Wirkung ein: der zwischen zwei viel schmaleren Sektoren eingeschlossene Sektor erscheint nun größer als der zwischen zwei erheblich breiteren Sektoren liegende. Dabei ist dieser Kontrast viel bedeutender als die vorher beschriebene angleichende Wirkung[1]. Nun sind, wie ich glaube, bei dem Florkontrast diese beiden

[1] Die geometrisch-optischen Täuschungen, Abhandlungen der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 24, 1898, S. 141. Vgl. auch unten Kap. XIV, 3, und Abschn. V (simultane Assoziationen).

Assoziationseinflüsse zugleich vorhanden, und sie wirken diesmal in gleichem Sinne. Einerseits nämlich wirkt der Randkontrast angleichend auf die umgebende Fläche, und das um so mehr, je weniger er scharf begrenzt ist, was durch die Konturenverwischung des Flors geschieht. Der Randkontrast geht so kontinuierlich in einen diffusen Kontrast über, der erst in beträchtlicher Entfernung von der Grenze verschwindet. Anderseits wirkt aber auch die induzierende Farbe oder Helligkeit zunächst auf den Randkontrast selbst, und dann auf den von diesem ausgehenden diffusen Kontrast in dem Sinne, daß der Unterschied der Empfindungen verstärkt wird. Ihr Maximum erreicht diese Wirkung bei den Komplementärfarben. Sie ist übrigens bis zu einem gewissen Grade selbst da zu beobachten, wo die Farben oder Helligkeiten räumlich getrennt sind. Dieser Kontrast wird nun durch den in gleicher Richtung wirkenden angleichenden Einfluß des Randkontrastes wesentlich unterstützt. Man könnte einwenden, die Berufung auf die analogen Beispiele räumlicher Induktion sei deshalb nicht zutreffend, weil es sich bei diesen um komplizierte Wahrnehmungen, beim Licht- und Farbenkontrast aber um einfache Empfindungen handle. Darauf ist zunächst zu entgegnen, daß einfache Empfindungen, insofern wir dieselben als isoliert aus allen ihren Verbindungen denken, überhaupt nur in unserer Abstraktion existieren, und daß sie sich in der Wirklichkeit natürlich den Wechselwirkungen mit andern Empfindungen namentlich da nicht entziehen können, wo die räumliche Verteilung der Eindrücke, wie beim Gesichts- und Tastsinn, zu unmittelbaren Beziehungen der gleichzeitigen Empfindungen herausfordert. Bekräftigt wird diese Schlußfolgerung außerdem dadurch, daß wir ähnliche assoziative Wirkungen, namentlich solche angleichender Art, wie sie hier für die Beziehung von Randkontrast und diffusem Kontrast vorausgesetzt sind, gerade beim Gesichtssinn auch sonst noch beobachten. Wenn man ein begrenztes kleines Objekt von bestimmter Farbe für sich isoliert im indirekten Sehen beobachtet, so nimmt, wie oben (S. 184) bemerkt wurde, die Farbenwirkung in den seitlichen Teilen des Sehfeldes zuerst ab und verschwindet endlich ganz. Wenn man aber eine gleichförmig ausgedehnte farbige Fläche betrachtet, so sieht man diese bis weit in die an sich der Farbenempfindung entbehrenden Teile des Sehfeldes hinein farbig. Daß hier eine periphere Kontaktwirkung nicht im Spiele sein kann, ist einleuchtend. Denn die peripheren Elemente, die zur Farbenerregung unfähig sind, können diese doch unmöglich durch die Einflüsse benachbarter Elemente gewinnen. Der angleichende Einfluß kann also nur zentraler Natur sein. Noch schlagender beweist das nämliche der blinde Fleck. Fällt ein Bild auf diesen Fleck, so verschwindet es im Gesichtsfeld. In einem kontinuierlich mit einer und derselben Empfindung ausgefüllten Sehfeld bemerken

wir aber den blinden Fleck nicht, gewiss nicht deshalb, weil die sonst das Licht direkt nicht empfindenden Sehnervenfasern nun mit einem Mal sehend würden, sondern wiederum, weil zentrale Wirkungen oder, wie wir es, da uns die psychologische Seite dieser elementaren Vorgänge sicherer bekannt ist, in diesem Fall besser ausdrücken, weil eine assoziative Angleichung der unerregten und unerregbaren Netzhautstellen an die ihnen benachbarten eingetreten ist[1].

Hiernach nehmen die Kontrasterscheinungen im Gebiet der Licht- und Farbenempfindungen eine eigenartige Stellung ein, insofern sie teils rein physiologischen, teils psychologischen oder psychophysischen Ursprungs sind. Der physiologische Kontrast fällt im wesentlichen mit dem Randkontraste zusammen, und es würde zweckmäßiger sein, bei ihm den Namen Kontrast überhaupt aufzugeben und ihn als antagonistische Kontakterregung zu bezeichnen. Der psychologische dagegen oder der eigentliche Kontrast deckt sich im wesentlichen mit den diffusen Kontrasterscheinungen, insoweit sie bei starrer Fixation der Objekte bestehen, und er beruht aller Wahrscheinlichkeit nach auf dem Zusammenwirken von zweierlei assoziativen Elementarprozessen, die sonst in der Regel getrennt vorkommen, hier sich aber zu dem gleichen Endeffekt vereinigen. Der Ausdruck »Kontrast« ist demnach auch für diese psychologische Seite der Erscheinungen, ähnlich wie in den andern Fällen seiner Anwendung, nur als eine Bezeichnung zu betrachten, die sich auf gewisse analoge Wirkungen von gegensätzlichem Charakter bezieht, wobei jedoch diese in jedem einzelnen Fall eine Analyse ihrer besonderen Bedingungen erfordern.

Die Lehre vom Kontrast hat, wie andere Teile der Empfindungslehre, und vielleicht mehr als die meisten derselben, unter dem Schicksal zu leiden, daß fast von dem Augenblick an, wo man sich mit denselben näher zu beschäftigen begann, bereits auf Grund anderer Erscheinungen fertige theoretische Vorstellungen bereit lagen, die Tatsachen, die man vorfand, zu assimilieren und der Untersuchung selbst ihre Richtung anzuweisen. So war anfänglich besonders die Analogie mit den negativen Nachbildern maßgebend, wie dies die Bezeichnungen »simultaner und sukzessiver Kontrast« schon andeuten: beide Kontraste wurden als identisch, der eigentliche Kontrast demnach für

[1] Vgl. unten Abschn. III, Kap. XIV. Ich besitze einen direkten Beleg für die nahe Beziehung dieser normalen Wechselbeziehungen zu den Kontrasterscheinungen in den Erscheinungen, die ich an der oben (S. 237) erwähnten zentral gelegenen, total erblindeten Stelle meines rechten Auges beobachten kann. Lasse ich auf die Umgebung derselben farbige Eindrücke einwirken, so sehe ich die blinde Stelle regelmäßig zuerst grau oder schwach gleichfarbig. Nach einiger Zeit tritt aber die Kontrastfarbe hervor: auf Gelb wird mit Violett, auf Grün mit Rot, auf Blau mit Gelb reagiert; nur auf Rot und Purpur erscheint keine deutliche Kontrastfarbe.

eine besondere Form des Nachbildes angesehen[1]. Es ist hauptsächlich FECHNERS Verdienst, nachgewiesen zu haben, daß Kontrast unter Bedingungen entstehen könne, unter denen negative und komplementäre Nachbilder nicht vorkommen, so daß von nun an erst der Kontrast als eine selbständige Erscheinung betrachtet wurde[2]. Dabei ließ übrigens FECHNER die Frage nach dem Ursprung der Kontrasterscheinungen dahingestellt, abgesehen davon, daß er bei seinen Versuchen über farbige Schatten einige Erscheinungen beobachtete, die ihm psychologische Nebeneinflüsse wahrscheinlich machten. Um so mehr standen in der folgenden Zeit die Debatten über den Kontrast durchaus unter dem Einfluß bestimmter theoretischer Gesichtspunkte. Indem HELMHOLTZ teils von FECHNERS Schattenversuchen teils von MEYERS Versuchen über die Wirkung durchscheinender Papiere ausging, wurde er zu seiner Urteilstheorie geführt, infolge deren er nun Beobachtungen in den Vordergrund stellte, die dieser Theorie günstig waren, und die demnach hauptsächlich dem Gebiet des Florkontrastes angehörten. Es wies darauf hin, daß der Kontrast bedeutend vermindert wird, sobald wir den induzierten Eindruck auf ein gesondertes Objekt beziehen, verkannte aber die wahre Bedeutung der Sättigungsverhältnisse der kontrastierenden Farben, weil er sich zu sehr an die speziellen Bedingungen des MEYERschen Versuchs hielt, die ihn zugleich zu seinen psychologisch ganz unhaltbaren logischen Interpretationsversuchen veranlaßten. Die kontrasterhöhende Wirkung des bedeckenden Briefpapiers bezog nämlich HELMHOLTZ darauf, daß wir den grauen Fleck scheinbar durch eine farbige Bedeckung sehen sollen. Befindet sich z. B. ein graues Papierstückchen auf rotem Grunde, und decken wir nun ein durchscheinendes Papier darüber, so sollen wir alles durch ein gleichförmig gefärbtes rosarotes Papier zu sehen glauben: ein Objekt, das durch ein rosarotes Medium gesehen grau empfunden wird, müsse aber grünlichblau sein, und daher erscheine der graue Fleck in dieser Farbe. Ähnlich ist seine Erklärung des Versuchs von RAGONI SCINA mit der spiegelnden Glasplatte. Bei den farbigen Schatten soll nach ihm die »Urteilstäuschung« in folgender Weise entstehen: Wir sind gewohnt das verbreitete Tageslicht weiß zu sehen; ist nun ausnahmsweise dasselbe nicht weiß, sondern rötlich, so ignorieren wir diese Abweichung ganz oder teilweise; wenn wir aber eine rötliche Beleuchtung weiß sehen, so muß uns ein in Wirklichkeit grauer Schatten so erscheinen, als wenn ihm zu Weiß etwas rotes Licht fehlte, also grünblau. HELMHOLTZ stützte sich bei dieser Auffassung der Schattenversuche auf Beobachtungen von FECHNER. Nimmt man nämlich, nachdem die Kontrastfarbe entstanden ist, eine innen geschwärzte Röhre und blickt durch dieselbe auf den farbigen Schatten, so daß aus der Umgebung desselben kein Licht in das Auge eindringt, so erscheint er trotzdem fortan gerade so gefärbt, als da man ihn mit freiem Auge beobachtete; und die Färbung bleibt selbst dann während kurzer Zeit bestehen, wenn man durch Wegziehen der gefärbten Glasplatte die farbige Beleuchtung aufhebt oder durch eine zweite Glasplatte in eine andersfarbige verwandelt. Es hat jedoch HERING gezeigt, daß diese Erschei-

[1] CHEVREUL, Mém. de l'acad. de Paris, t. 11, 1832. PLATEAU, POGGENDORFFS Ann. Bd. 32, 1834, S. 543. Bd. 38, 1836, S. 626.

[2] FECHNER, POGGENDORFFS Ann. Bd. 44, 1838, S. 221. Bd. 50, 1840, S. 483. Ber. der sächs. Ges. der Wiss. 1860, S. 71.

nungen um so mehr verschwinden, je fester man den Schatten fixiert. Sie dürften daher, wenigstens zum größten Teil, auf die bei ungenauer Fixation entstehenden komplementären Nachbilder der induzierenden farbigen Beleuchtung zurückzuführen sein, so daß sie jedenfalls für die Urteilstheorie nicht zu verwerten sind[1]. Gegen diese Theorie erheben sich übrigens noch andere erheblichere Bedenken, die sich zum Teil schon aus den Versuchen selbst, die zugunsten derselben ins Feld geführt wurden, ergeben. Wenn beim MEYERschen Versuch wirklich die Täuschung obwaltete, daß wir durch ein gefärbtes Papier zu sehen glauben, so müßte der Kontrast um so intensiver sein, je mehr das Papier gefärbt ist, je durchscheinender man also die Bedeckung nimmt: dies ist aber nicht der Fall, sondern man findet, daß eine sehr dünne Bedeckung auf gesättigtem Grunde nur geringen Kontrast gibt, und daß das bedeckende Papier offenbar nur dadurch wirkt, daß es eben die Helligkeits-, Sättigungsverhältnisse und Konturenwirkungen herstellt, die dem »Florkontrast« eigen sind, die aber auch unter Bedingungen hergestellt werden können, bei denen von jener von HELMHOLTZ vorausgesetzten Illusion nicht die Rede sein kann, wie z. B. an den rotierenden Scheiben. Jene unwahrscheinliche Deutung, welche die HELMHOLTZsche Theorie den meisten Kontrasterscheinungen gibt, ist denn auch wohl die Ursache gewesen, daß nach Aufstellung derselben eine Reihe von Beobachtern, wie FECHNER[2], ROLLET[3], E. MACH[4], HERING[5] und in verschiedenen neueren Arbeiten PLATEAU[6], an der Hypothese einer physiologischen Wechselwirkung der Netzhautstellen festhielten. Dabei sind dann freilich nicht bloß die wesentlichen Unterschiede in dem Verhalten des Kontakt- und des Florkontrastes meistens völlig unbeachtet geblieben, sondern Erscheinungen, die HELMHOLTZ zweifellos mit Recht als solche bezeichnet hatte, die nicht aus physiologischen Kontaktwirkungen abzuleiten seien, wurden entweder nicht berücksichtigt oder, nachdem einmal bei den Schattenversuchen Irrungen durch Nachbilder zugestanden werden mußten, ohne zureichende Belege ebenfalls auf solche bezogen. Erscheinungen dieser Art sind die von HELMHOLTZ bei dem MEYERschen Versuch beobachteten Aufhebungen des Kontrastes durch die Vergleichung mit unabhängig gegebenen Objekten. Bringt man nämlich an den von dem farbigen Hof umgebenen kontrastierenden Fleck des durchscheinenden Papiers ein graues Papierschnitzel heran, welches genau die gleiche Helligkeit wie der induzierte Fleck selbst besitzt, so vermindert sich die Induktionswirkung sehr bedeutend und kann unter Umständen ganz schwinden; und zwar tritt dieser Erfolg bei ganz ruhiger Fixation ein, so daß bei den ohnehin sehr schwachen Sättigungen und Helligkeiten an die Beteiligung unbeachtet gebliebener komplementärer Nachbilder nicht zu denken ist. HELMHOLTZ, der in der 2. Auflage seiner physiologischen Optik manche seiner früheren Versuche als nicht beweisend preisgab, hat, wie ich glaube, diese Beobachtung mit vollem Recht stehen lassen. Eine für mich selbst und mehrere andere Personen, die ich die Beobachtung

---

[1] HERING, PFLÜGERS Archiv, Bd. 40, 1887, S. 172 ff. Bd. 41, S. 1 ff. Bd. 43, 1889, S. 1 ff.

[2] Ber. der sächs. Ges. der Wiss. 1860, S. 131.

[3] Wiener Sitzungsber. Bd. 55, April 1867. Separatabdruck S. 21.

[4] Ebend. Bd. 52, S. 317. Vierteljahrsschrift für Psychiatrie, Bd. 2, 1868, S. 46.

[5] Zur Lehre vom Lichtsinn. 1.—3. Mitteilung. PFLÜGERS Archiv, Bd. 40—43.

[6] Bulletin de l'acad. de Belgique, 2. sér. t. 39, p. 100. t. 42, p. 535, 684.

ausführen ließ, schlagende Form des Versuchs ist z. B. die folgende, bei der man sich der Kreuze in Fig. 211 (S. 218) bedienen kann. Man verfertige sich einen Papierstreifen von demselben Grau wie die Kreuze und genau so lang, daß er gerade zureicht, die beiden nach innen einander zugekehrten horizontalen Arme zu verbinden. Zuerst bedecke man die Figur mit dünnem Seidenpapier: der zuvor kaum merkliche Kontrast erscheint dann, wie oben beschrieben, sehr stark, das graue Kreuz auf schwarzem Grunde sieht beinahe weiß, das auf weißem nahezu schwarz aus. Jetzt schiebe man unter dem Seidenpapier den schmalen grauen Streifen so weit herauf, daß er die einander zugekehrten Kreuzarme verbindet. Nun ereignet sich eine nicht momentan, sondern ganz allmählich erfolgende Änderung des Eindrucks, indem die Unterschiede der beiden Kreuze völlig oder bis auf ganz schwache Spuren verschwinden. Dieser Versuch gelingt auch dann vollkommen, wenn man, während das Streifchen heraufgeschoben wird, einen Punkt in der Mitte zwischen den Kreuzen fixiert. Von Nachbildwirkungen kann also ebensowenig wie von Ermüdung die Rede sein, da die beschriebene Ausgleichung niemals bei längerer Betrachtung der Figur von selbst, sondern eben immer nur bei der Heranbringung des ausgleichenden Objektes eintritt. Nach Versuchen, die auf meine Bitte verschiedene Beobachter an dieser Figur vorgenommen haben, muß ich annehmen, daß die Deutlichkeit, mit der die Aufhebung des Kontrastes erfolgt, individuell variiert, indem sie bei manchen nur spurweise, bei andern sehr auffallend ist. Solche individuelle Unterschiede können aber doch kaum dazu bestimmen, diese HELMHOLTZschen Beobachtungen überhaupt zurückzuweisen. Vielmehr muß ich sie wenigstens bei der Art, wie sich bei mir selbst die Aufhebung des Kontrastes vollzieht, als durchaus zwingend anerkennen. Dies vorausgesetzt kann aber der psychologische oder zentrale Charakter der Erscheinung schwerlich bezweifelt werden. Freilich wird man sie darum so wenig wie den Kontrast selbst als eine »Urteilstäuschung« im HELMHOLTZschen Sinne, sondern eben nur als eine Erscheinung assoziativer Gegenwirkung betrachten können, durch welche die ursprüngliche Kontrasterscheinung kompensiert wird.

Elftes Kapitel.

Gefühlselemente des Seelenlebens.

1. Methoden der Gefühlsanalyse.

a. Die Eindrucksmethode.

Zwei Methoden stehen zum Zweck der Analyse der Gefühle zu unserer Verfügung: wir nennen sie die Eindrucksmethode und die Ausdrucksmethode[1]. Schon die Doppelheit dieser Methoden ist für die zentrale Stellung der Gefühle inmitten des Seelenlebens bezeichnend. Auf der einen Seite ist ihnen die Eindrucksmethode mit den Empfindungen und Vorstellungen gemeinsam, nur daß die experimentelle Analyse der letzteren überhaupt kein anderes Verfahren, als eben die willkürliche Variation der Bewußtseinsinhalte durch äußere Reize, kennt. Bei der Gefühlsanalyse findet diese nun ihre Ergänzung in einer Methode, die umgekehrt in dem Sinne von innen nach außen gerichtet ist, daß sie zu bestimmten, subjektiv wahrgenommenen Gefühlen die physischen Begleiterscheinungen aufsucht, die als mehr oder minder regelmäßige Symptome derselben gelten können. Beide Methoden sind »psychophysisch«, insofern ihre Absicht auf die Analyse psychischer Vorgänge ausgeht, sie aber zur Erreichung dieses Zwecks physischer Hilfsmittel bedürfen: der äußeren Reize die Eindrucksmethode, gewisser körperlicher Symptome die Ausdrucksmethode. Von beiden ist die erste naturgemäß die primäre. Nur sie kann für sich allein schon zu bestimmten Ergebnissen führen, während die Ausdrucksmethode immer die Kenntnis der zugehörigen subjektiven Erscheinungen voraussetzt, deren Analyse der Eindrucksmethode zufällt.

Wenn nun aber auch die Eindrucksmethode kein spezifisches Verfahren ist, so weicht doch ihre Anwendung im Gebiet der Gefühle sowie der aus ihnen zusammengesetzten Gemütsbewegungen insofern wesentlich ab, als hier nicht die direkte Wirkung der Reize in Frage steht, sondern die indirekte, selbst erst durch die der Vorstellungsseite des Seelenlebens angehörenden Erscheinungen vermittelte. Man will durch den Reiz zunächst irgendeine Veränderung des Vorstellungsinhaltes hervorbringen, um die Beziehungen, in denen dieser zu gewissen Gefühls-

---

[1] Das Wort »Ausdrucksmethode« ist meines Wissens zuerst von O. KÜLPE gebraucht worden, Grundriß der Psychologie, 1893, S. 293.

vorgängen steht, und damit zugleich die Eigenschaften der letzteren selbst zu ermitteln. Mit dieser indirekten Verwertung hängt es dann zusammen, daß man schon zum Zweck der Analyse relativ einfacher Gefühle unter Umständen Reize anwenden kann, die von vornherein auf die Erweckung zusammengesetzter Vorstellungsinhalte ausgehen, weil eben auch diese noch mit Gefühlszuständen von einfacher Beschaffenheit verbunden sein können. Mit Rücksicht hierauf werden daher die Betrachtungen dieses Kapitels schon da und dort über den Umkreis der bisher behandelten einfachen Empfindungen hinausgreifen müssen, da sich eben Empfindungs- und Gefühlselemente nicht in der Weise zuordnen lassen, daß beide durchaus einander parallel gehen. Hieraus erhellt zugleich, daß die Einführung des Wortes »Eindrucksmethode« an Stelle des bei der Untersuchung der Empfindungen gebrauchten »Reizmethode« in doppelter Beziehung seinen guten Sinn hat: einmal weil dabei von vornherein an die zwar prinzipiell nicht absolut geforderte, aber doch wegen der entfernteren Beziehungen der Gefühle zu den etwaigen äußeren Reizen kaum zu entbehrende Ergänzung durch die »Ausdrucksmethode« gedacht wird, und sodann, weil der »Reiz« im allgemeinen eine einfachere Art der Einwirkung bezeichnet, während ein »Eindruck« beliebig von einfacher wie zusammengesetzter Beschaffenheit sein kann. Endlich weist der Begriff des Reizes zunächst auf die äußere physische Einwirkung hin, wogegen der des Eindrucks mehr an den psychischen Inhalt denken läßt.

Demnach kann die Eindrucksmethode bei den Gefühlen keine andern äußeren Einwirkungen verwenden als die Reizmethode bei den Empfindungen; und wenn die einzelnen Verfahrungsweisen trotzdem im allgemeinen nicht zusammenfallen, so hat dies nicht sowohl in Verschiedenheiten der Reizeinwirkung, als vielmehr in den besonderen psychologischen Zwecken der Untersuchung seinen Grund. Was hierbei die Eindrucksmethode auszeichnet, das ist bei der Analyse der elementaren Gefühlszustände wie der komplexeren Gemütsbewegungen in erster Linie das eigentümliche Verfahren der subjektiven Vergleichung, dem von vornherein die Reizeinwirkung angepaßt sein muß. Diese subjektive Vergleichung ist deshalb eine andere als bei der Empfindungsanalyse, weil dort die Empfindungsinhalte eben nur als Mittel benutzt werden, um bestimmte Gefühlswirkungen hervorzubringen, worauf die ganze Tätigkeit der Vergleichung diesen letzteren sich zuwendet. Das Verfahren setzt darum im allgemeinen größere Reihen von einzelnen Beobachtungen voraus, bei denen jedesmal die Eindrücke und demnach mit ihnen die Empfindungsinhalte planmäßig variiert werden. Mit Rücksicht hierauf zerfällt die Eindrucksmethode in zwei, wesentlich verschiedenen Aufgaben der Gefühlsanalyse zugehörige Verfahrungsweisen: 1) in die Methode der

Variation der Eindrücke bei konstant bleibenden Bedingungen, und 2) in die Methode der Konstanterhaltung der Eindrücke bei Variation der begleitenden Bedingungen. Die erstere ist die fundamentalere; sie läßt allein eine regelmäßige und planmäßige Abstufung der experimentellen Einwirkungen zu. Die zweite besitzt mehr eine ergänzende Bedeutung. Sie schließt insbesondere auch jene Variation der Bedingungen ein, die durch die individuellen Verschiedenheiten der Gefühlsanlage entstehen, und führt so unmittelbar über in das Gebiet der »psychologischen Charakterologie«.

In beiden Fällen ist das Vergleichungsverfahren selbst im wesentlichen ein übereinstimmendes. Am präzisesten kommt es allerdings bei der Variation der Eindrücke zur Anwendung, da die der Bedingungen meist allzu sehr von zufälligen Umständen abhängt, um immer ein planmäßiges Verfahren anwenden zu können. Dies erhellt besonders deutlich, wenn die Variation der Bedingungen in den Unterschieden individueller Gefühlsdispositionen besteht, die man eben nur da untersuchen kann, wo sie sich zufällig vorfinden. Dagegen läßt die Variation der Eindrücke eine einfachere und eine verwickeltere Form zu, die beide ihre erste Ausbildung übrigens nicht bei den einfachsten Gefühlsproblemen, sondern aus Anlaß der Untersuchung gewisser »ästhetischer Elementargefühle« erlangt haben, von Gefühlen also, die zwar in dem ästhetischen Gebiet, dem sie zugehören, von einfachster Art, innerhalb des allgemeinen Umkreises der Gefühlsvorgänge aber doch schon von komplexer Beschaffenheit sind. Gleichwohl sind die beiden möglichen Verwendungen der Eindrucksmethode, die sich bei diesen speziellen Problemen der experimentalen Ästhetik ergeben, auch für das weitere Gebiet der Gefühle verwendbar, und sie ergänzen sich in willkommener Weise. Die eine dieser Methoden besteht in der unmittelbaren Anwendung äußerer Eindrücke zur Hervorrufung bestimmter Gefühle: wir können sie die direkte Eindrucksmethode nennen; die andere in der willkürlichen Hervorrufung von Erinnerungsvorstellungen an gefühlerregende Eindrücke: wir wollen sie als die Reproduktionsmethode bezeichnen[1]. Für die einfacheren Gefühlsvorgänge ist die direkte Methode die vorzugsweise

---

[1] Von diesen Methoden entspricht die erste derjenigen, die FECHNER in seiner experimentalen Ästhetik als die »Methode der Wahl«, die zweite derjenigen, die er als die »Methode der Herstellung« bezeichnet hat, Namen, die freilich außerhalb des ästhetischen Gebietes nicht mehr wohl anwendbar sind, da namentlich das Moment der »Wahl« durchaus an die hier obwaltenden speziellen Bedingungen geknüpft ist. Eine dritte von FECHNER unterschiedene Methode, die der »Verwendung«, fällt für die allgemeinere Gefühlsuntersuchung von selbst weg. Übrigens werden wir sehen, daß ihr auch auf dem Gebiet der elementaren Ästhetik sehr erhebliche Bedenken entgegenstehen. Vgl. FECHNER, Zur experimentalen Ästhetik, Abhandl. d. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 9, 1871, S. 602 f. und unten Bd. 3, Kap. XVI, 2.

verwendbare; die reproduktive kommt hier nur in Verbindung mit der direkten, und besonders in solchen Fällen in Betracht, wo sich die Untersuchung auf gewisse assoziative Nebenbedingungen bezieht. Dagegen ist dieselbe für die Analyse der Affekte ein überaus schätzbares Hilfsmittel. Die direkte Erregung von Freude, Zorn, Kummer u. dergl. in den Versuchspersonen ist uns im allgemeinen versagt; und wo dies je einmal möglich sein sollte, da gestalten sich meist die Bedingungen wenig günstig für die exakte Beobachtung. Um so wertvoller ist es, daß ein psychologisch geübter Beobachter willkürlich Affekte jeder Art reproduktiv in sich zu erzeugen vermag, wobei diese zwar an Intensität meist hinter den wirklich erlebten zurückstehen, immerhin aber ihnen zureichend ähnlich sind, um als Ersatzmittel dienen zu können. Zugleich bildet, besonders in diesem Fall, die Ausdrucksmethode ein unentbehrliches ergänzendes Hilfsmittel.

Übrigens steht auch die direkte Eindrucksmethode wegen der Schwierigkeit, Gefühle nach Intensität und Qualität genauer vergleichen zu können, hinter den entsprechenden Reizmethoden der Empfindungsanalyse zurück. Sie bietet mit Hilfe eines planmäßigen systematischen Vergleichungsverfahrens im allgemeinen nur die Möglichkeit einer gewissen qualitativen Ordnung, innerhalb dieser aber höchstens die einer annähernden quantitativen Abstufung der Erscheinungen. Prinzipiell ist dabei die Vergleichung in einer doppelten Form möglich: in der der paarweisen und in der der reihenweisen Vergleichung. Bei der ersten beschränkt man sich in der einzelnen Versuchsgruppe auf die Vergleichung der Gefühlswirkungen je zweier Eindrücke. Auf Grund einer größeren Anzahl solcher Versuche können dann die entsprechenden Gefühle in gewisse Gattungen geschieden und innerhalb jeder Gattung in gradweise abgestufte Reihen geordnet werden. Bei der zweiten läßt man sofort eine ganze Reihe von Eindrücken auf das Bewußtsein einwirken, um auf Grund der zwischen den sämtlichen Wirkungen ausgeführten Vergleichungen eine ähnliche Ordnung wie vorhin herzustellen. Da übrigens eine einigermaßen exakte Vergleichung immer nur zwischen je zwei Inhalten möglich ist, ja die Vergleichung größerer Reihen sich eigentlich stets in eine Anzahl solcher, nur unregelmäßiger ausgeführter paarweiser Vergleichungen zerlegt, so ist die Methode der paarweisen Vergleichung entschieden vorzuziehen; höchstens zur ersten Orientierung über ein bestimmtes Gefühlsgebiet kann es nützlich sein, zunächst eine Reihe von Eindrücken einwirken zu lassen, damit man nun die für die engere Vergleichung am besten sich eignenden auswähle. Hier erweisen sich dann als günstige Fälle entweder solche, wo die zu vergleichenden subjektiven Zustände einander nahe liegen, oder aber umgekehrt solche,

wo sie innerhalb einer zusammengehörigen Gruppe möglichst weit voneinander entfernt sind. Das erstere trifft im allgemeinen dann zu, wenn die paarweise Vergleichung die Anordnung bestimmter zusammengehöriger Gefühle in eine Reihe vorbereiten soll; das letztere oder die Methode der Kontrastvergleichung ist hauptsächlich dann förderlich, wenn es sich um die scharfe Unterscheidung verschiedener subjektiver Zustände handelt.

b. Die Ausdrucksmethode.

Der Ausdrucksmethode fallen an und für sich alle physischen Symptome zu, durch die sich Gefühle und aus Gefühlen zusammengesetzte Gemütsbewegungen nach außen kundgeben. Manche dieser Symptome treten aber in der Regel erst bei einer Häufung der Gefühlswirkungen, wie die Verbindung der Gefühle zu Affekten und Willensvorgängen sie mit sich führt, deutlich hervor. Dies gilt namentlich von den mimischen und pantomimischen Bewegungen, diesen wichtigen Bestandteilen aller lebhafteren Gemütsbewegungen. Da sie bei den einfachen Gefühlen nur in spurweisen Andeutungen vorzukommen pflegen, so werden sie hier um so mehr außer Betracht bleiben können, als sie in ihren ausgeprägteren Formen für die später zu erörternden Affekte besonders charakteristisch sind (Abschn. IV). Das Gebiet der Ausdrucksmethode in seiner Anwendung auf die Gefühlselemente des Bewußtseins bleibt daher auf diejenigen physiologischen Symptome eingeschränkt, die zumeist nicht unmittelbar äußerlich sichtbare, dafür aber um so konstantere Erscheinungen sind. Es sind das diejenigen Ausdruckssymptome, die in Veränderungen der Innervation der Atmung, des Herzens und der Blutgefäße bestehen. Unter ihnen reichen die Atmungssymptome teilweise in das Gebiet der äußeren Ausdrucksbewegungen hinüber, da sie sich bei gesteigerter Intensität zuweilen schon der unmittelbaren Beobachtung zu erkennen geben. Auch sind sie die einzigen unter diesen Erscheinungen, die dem direkten Einfluß des Willens nicht ganz entzogen sind. Immerhin erfolgen sie im normalen Verlauf der Prozesse ebenso unwillkürlich wie die übrigen. Jedenfalls aber sind sie nur als unwillkürliche Erscheinungen im Zusammenhange mit den andern Hilfsmitteln der Ausdrucksmethode verwertbar, und es fordert daher dieser Punkt stets besondere Beachtung, um so mehr, da die Atmungsbewegungen unter Umständen die übrigen, vom Blutgefäßsystem herrührenden Erscheinungen, Puls und Gefäßinnervation, stark verändern, so daß dadurch indirekt auch solche Einflüsse, die an sich mit den zu untersuchenden Gefühlen gar nichts zu tun haben, die Symptome trüben können.

Die Physiologie hat für die Untersuchung der Mechanik der Atmung und des Kreislaufs die Verfahrungsweisen ausgebildet, die der Psychologie nunmehr für die den gleichen Gebieten angehörende Symptomatik der Gefühle zur Verfügung stehen. Sie bestehen durchweg in Methoden der Selbstregistrierung, bei denen sich auf eine mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegte Fläche die zu untersuchenden Bewegungen mit Hilfe eines geeigneten Systems von Übertragungen aufzeichnen. Am wenigsten ein treues und vollständiges Bild der wirklichen Bewegungen bieten hierbei die Kurven des die Registrierung der Atembewegungen besorgenden Pneumographen, da ein einzelnes Instrument dieser Art nur die Bewegungen einer einzelnen Stelle der Brustwand, und auch diese natürlich nur unvollkommen anzudeuten vermag. Man gewinnt daher auf diese Weise nur einen ungefähren Aufschluß über die größeren Schwankungen der Intensität und Frequenz der Atembewegungen, nicht über die feineren Unterschiede der Verteilung derselben an den oberen, thorakalen, und den unteren, abdominalen, den Kontraktionen des Zwerchfells folgenden Bewegungen. Diesem Übelstand läßt sich einigermaßen durch die Anwendung von zwei oder mehr Pneumographen abhelfen, die an verschiedene Teile der Brustwand angelegt werden. Ein treues Bild der Herzbewegungen gewährt im allgemeinen bei geeigneter Beschaffenheit und vorsichtiger Anwendung des Instruments der in der Regel auf die Arteria radialis aufgesetzte, den Arterienpuls registrierende Sphygmograph. Minder sicher gibt dagegen teils wegen der stattfindenden Summation der Wirkungen, teils infolge sonstiger störender Einflüsse der Plethysmograph die Volumänderungen eines Körperteils, wie der Hand oder des Armes, und damit indirekt die Innervationsschwankungen der Blutgefäße gleichzeitig mit den das Volum ebenfalls beeinflussenden Pulsänderungen wieder. Auf diese Weise vereinigt der Plethysmograph in einem gewissen Grade die Eigenschaften des Sphygmographen und Pneumographen mit den ihm spezifisch eigenen Funktionen eines Messungshilfsmittels für die Änderungen der Gefäßinnervation. Dies ist in mancher Beziehung ein Vorzug, in anderer, wegen der Komplikation und der wechselseitigen Überdeckung der Symptome, ein Nachteil. Darum ist es unter allen Umständen nützlich, von diesen Selbstregistrierungen von Atmung, Arterien- und Volumpuls wenigstens zwei, z. B. Pneumo- und Plethysmograph, Pneumo- und Sphygmograph, gleichzeitig anzuwenden.

Bei der Benutzung aller dieser Methoden für psychologische Zwecke ist außerdem stets im Auge zu behalten, daß die hier untersuchten Funktionen, abgesehen von den Veränderungen, die sie unter dem Einfluß bestimmter Gefühlszustände erfahren, noch unter rein physiologischen Ein-

wirkungen stehen, die ihre symptomatische Verwertung unsicher machen können. Solcher physiologischer Einflüsse gibt es vornehmlich zwei: erstens kann das Blut vermöge seiner dyspnoischen oder eupnoischen Beschaffenheit erregend oder hemmend direkt auf die Innervationszentren der Atmung, der Herz- und Gefäßinnervation einwirken; und zweitens können diese Funktionen selbst Wirkungen aufeinander ausüben. So haben TRAUBE und HERING wellenförmige Schwankungen des Blutdrucks, die aller Wahrscheinlichkeit nach auf eine zentrale Erregung durch das dyspnoische Blut zurückzuführen sind, bei Tieren beobachtet, Schwankungen, die bei Einleitung der künstlichen Respiration die gleichen Perioden wie die Atmung einhielten[1]. Nun ist nicht ausgeschlossen, daß auch infolge vorübergehender Atmungsstörungen im Verlauf von Gefühlsversuchen ähnliche Wirkungen sich einstellen. Da sie aber beträchtlichere Grade von Dyspnoe voraussetzen, so können sie bei den einfachen Gefühlssymptomen außer Betracht bleiben. Wo sie je einmal vorkommen, da sind sie so sehr von sonstigen Störungen begleitet, daß eine psychologische Verwertung ohnehin fraglich ist. Ebenso können sich andere, wahrscheinlich ebenfalls auf direkte Bluterregungen der vasomotorischen Zentren zurückzuführende, langsamere Schwankungen in die psychophysischen Symptome einmengen. Dies sind die zuerst von S. MAYER beobachteten und nach ihm die »MAYERschen Wellen« genannten Schwankungen, die in sehr regelmäßigen Perioden, aber unabhängig von der Atmung erfolgen[2]. Wegen dieser Eigenschaften können aber auch sie von den eigentlichen Gefühlssymptomen leicht unterschieden werden. Die Gleichmäßigkeit, mit der eine Gefühlsreaktion, unabhängig von solchen physiologischen Schwankungen, auf eine bestimmte Gefühlserregung eintritt und nach dem Ablauf derselben wieder schwindet, entscheidet in der Regel sofort für den Charakter der Erscheinung als Ausdruckssymptom.

Wesentlich anders verhält es sich mit den Störungen zweiter Art: mit den Wirkungen, welche die verschiedenen Ausdruckserscheinungen aufeinander ausüben. Hier steht in erster Linie der Einfluß der Atmung. Stärkere respiratorische Schwankungen ziehen regelmäßig auch die andern Symptome, die Herzbewegung und das Blutvolum der Gefäße, in Mitleidenschaft. Dieser Einfluß ist aber um so beachtenswerter, als die respiratorischen Schwankungen ebensowohl aus rein physiologischen Ursachen, wie durch das direkte Eingreifen des Willens, wie endlich selber als Ausdruckssymptome von Gefühlen auftreten können. In den beiden

---

[1] HERING, Sitzungsber. der Wiener Akademie, Bd. 60 (2), 1870, S. 829.
[2] S. MAYER, ebend. Bd. 74 (3), 1877, S. 281.

ersten Fällen kommen die Erscheinungen für die psychologische Verwertung überhaupt nicht in Betracht. Im dritten Fall sind sie zwar als respiratorische von Bedeutung; aber es erhebt sich zugleich die Frage, ob die Veränderungen des Arterien- und des Volumpulses bloß Folgewirkungen der respiratorischen Schwankungen, oder ob sie nebenbei auch unabhängig, durch gleichzeitige Erregungs- oder Hemmungsvorgänge innerhalb der Herz- und der vasomotorischen Zentren verursacht sind. Diese Frage zu entscheiden kann namentlich bei der Analyse der Affekte außerordentlich schwer fallen, da dieselben ohne respiratorische Veränderungen überhaupt kaum vorkommen. Aber auch bei den einfachen Gefühlen, namentlich bei solchen, die an und für sich schon leicht in Affekte übergehen, ist sie von Schwierigkeiten umgeben; und diese werden dadurch noch gesteigert, daß die respiratorischen Einflüsse auf Blutdruck und Blutbewegung von ganz abweichender Art sein können, je nach Intensität und Rhythmus der Atembewegungen. Sowohl die Inspiration wie die Exspiration führt nämlich schon rein mechanisch Momente der Steigerung wie der Abnahme des Blutdrucks mit sich. Die Inspiration bewirkt z. B. eine Steigerung des Blutdrucks durch die Ansaugung des Blutes nach dem Herzen und durch den die Bauchhöhle entleerenden Druck des Zwerchfells nach unten. Sie bewirkt dagegen eine Abnahme des Blutdrucks durch die Schwächung der Herzkontraktion und durch die Stauung des Blutes in den Lungengefäßen. Die Exspiration wirkt notwendig dort wie hier in entgegengesetztem Sinne. Zu diesen mechanischen Momenten können dann, namentlich bei länger dauernder Atempause, auch noch die oben erwähnten dyspnoischen Erregungen des Atemzentrums hinzutreten. Eine Folge dieser komplizierten Wirkungen ist es, daß bei langsamer und tiefer Atmung eine Zunahme des Blutdrucks und demzufolge auch der Volumpulse zumeist auf die Inspirationsphase, daß sie dagegen bei sehr beschleunigter Atmung hauptsächlich auf die Exspirationsphase fällt. Wo diese Atmungseffekte in der einen oder der andern Richtung stark hervortreten, da ist es dann der Natur der Sache nach meist unmöglich zu entscheiden, ob die Blutdrucksymptome ausschließlich Wirkungen der respiratorischen Veränderungen sind, oder ob sie außerdem noch eine selbständige Bedeutung besitzen. In vielen Fällen und namentlich bei den in geringerem Grade zu Affektwirkungen tendierenden Gefühlen können allerdings die Herz- und Gefäßsymptome auch dann deutlich hervortreten, wenn eine respiratorische Verursachung derselben ausgeschlossen ist, weil die Atmung in der gleichen Zeit jenen ruhigen Verlauf genommen hat, bei welchem die respiratorischen Schwankungen im Blutgefäßsystem verschwinden. In allen Fällen bleibt jedoch zu beachten, daß die vasomotorischen wie die

respiratorischen Symptome an sich nur Zeichen von Innervationsänderungen in den Atmungs-, Herz- und Gefäßnervenzentren sind, daß sie aber an sich weder über die in der Mechanik der Nervenzentren begründeten Ursachen dieser Symptome noch über die weiteren physiologischen Zusammenhänge der betreffenden Innervationen etwas aussagen. Wenn man also z. B. aus der in der Erhebung der plethysmographischen Kurve sich ankündenden Steigerung der Blutfülle eines peripheren Organs auf verminderten, aus der umgekehrten Erscheinung auf vermehrten Blutzufluß zum Gehirn zurückschließen wollte, wie dies tatsächlich geschehen ist, so würde das unzulässig sein, weil zur Annahme eines solchen Zusammenhangs der Blutverteilung durchaus kein Grund vorliegt. Vielmehr haben alle diese Symptome zunächst ihren physiologischen Wert lediglich darin, daß sie objektiv nachweisbare Erscheinungen sind, die, sofern sie bestimmte Gefühlsvorgänge regelmäßig begleiten, in ihren Unterschieden Hinweise auf entsprechende psychische Unterschiede vermuten lassen. Dabei darf man aber niemals vergessen, daß sie eben nur solche Hinweise, nicht im allergeringsten jemals Beweise sind. Wo die subjektive Beobachtung nicht das Vorhandensein eines bestimmten Gefühls unzweideutig erkennen läßt, da kann man natürlich aus einer noch so großen Häufung objektiver Erscheinungen nicht auf dasselbe zurückschließen. Immerhin lehrt die Erfahrung, daß Spuren von Gefühlen der subjektiven Beobachtung entgehen können, so lange nicht durch besondere Motive die Aufmerksamkeit auf sie gelenkt wird. Anderseits bleibt die bloße Selbstbeobachtung ohne eine solche objektive Kontrolle stets einer Autosuggestion ausgesetzt, vermöge deren der Beobachter lediglich das wahrnimmt, was ihn seine vorgefaßten Meinungen vermuten ließen. Vor allem die Gefühle und die auf sie zurückführenden komplexen Gemütserregungen bilden daher ein Gebiet psychologischer Beobachtung, auf dem eine Kombination der Eindrucks- mit der Ausdrucksmethode zur Gewinnung einigermaßen gesicherter Ergebnisse unerläßlich ist[1].

Die respiratorischen und vasomotorischen Erscheinungen sind die hauptsächlichsten, die bis jetzt der Ausdrucksmethode zu Gebote stehen. Sie sind aber, auch wenn man von den hier der Affektanalyse vorbehaltenen mimischen und pantomimischen Ausdrucksbewegungen absieht, selbstverständlich nicht die einzigen, sondern neben ihnen lassen sich noch mannigfache physische Reaktionen in ähnlichem Sinne benutzen. Nur muß dabei stets die Forderung erfüllt sein, daß entweder überhaupt oder

[1] Vgl. oben Bd. 1, S. 41, und meinen Aufsatz über die »Ausfragemethode«, Psychol. Stud. Bd. 3, 1907, S. 301 ff.

mindestens für die in Betracht gezogene Seite der Erscheinungen willkürliche Einflüsse, die den symptomatischen Wert in Frage stellen, ausgeschlossen sind. Am häufigsten hat unter diesen weiteren Hilfssymptomen die Arbeitsleistung eines einzelnen Bewegungsorgans von möglichst beschränkter Funktion, wie z. B. eines einzelnen Fingerglieds, in dem von MOSSO konstruierten Ergographen Verwendung gefunden. Hier ist zwar die Arbeitsleistung selbst ganz und gar eine willkürliche Handlung. Aber die Art ihrer Ausführung und namentlich die durch sie herbeigeführten Symptome der Ermüdung und Erschöpfung sind unwillkürliche Ergebnisse, die in ihrem Verlauf zwar wiederum zu einem sehr wesentlichen Teil rein physiologisch bedingt sind, daneben aber doch auch von psychischen Momenten, insbesondere von Gefühlszuständen abhängig sein können. Gleichwohl steht der Ergograph als psychophysisches Hilfsmittel in zwei wesentlichen Punkten zurück: erstens sind bei ihm die physiologischen Einflüsse so vorherrschend, daß die psychischen im allgemeinen in die Reihe der Nebenbedingungen gehören; und zweitens ist der Zustand der »Ermüdung«, über den der Gang der Ergographenkurven Auskunft erteilt, selbst nach seiner physiologischen Seite eine so überaus komplexe Erscheinung, daß er unter allen Umständen ein vieldeutiges Symptom bleibt und daher über vorübergehende Gefühlszustände überhaupt nicht, über dauernde höchstens auf indirektem Wege und unter Zuhilfenahme anderer Symptome Schlüsse zuläßt. In der Anwendungsweise das einfachste ist daher der Ergograph in bezug auf die Verwertung seiner Ergebnisse das schwierigste und zweifelhafteste der uns für die physiologische Symptomatik der psychischen Zustände zur Verfügung stehenden Instrumente. Mehr versprechen in dieser Beziehung einige zunächst im Interesse der individuellen psychologischen Charakteristik und namentlich für psychiatrische Zwecke angewandte Hilfsmittel, wie E. KRAEPELINs »Schriftwage«, die den Zeit- und Energieverlauf der Bewegungen des Schreibens zu registrieren gestattet[1], und R. SOMMERs Methoden zur Untersuchung der zentralen Einflüsse auf den Kniesehnen- und den Pupillenreflex[2]. Ferner gehören hierher das zu praktischen Zwecken auch sonst gebrauchte Federdynamometer, Vorrichtungen zur Bestimmung der extensiven Größe von Streck- und Beugebewegungen des Armes, wie sie z. B. STÖRRING anwandte, u. a.[3]

---

[1] E. KRAEPELIN, Psychologische Arbeiten, Bd. 1, 1896, S. 20. AD. GROSS, ebend. Bd. 2, 1899, S. 452 ff.

[2] R. SOMMER, Lehrbuch der psychopathologischen Untersuchungsmethoden, 1899. S. 24 ff.

[3] STÖRRING, Phil. Stud. Bd. 12, 1896, S. 480 ff. Archiv für die ges. Psychol. Bd. 6, 1906, S. 316 ff.

Den Gedanken, an die Stelle der zufälligen und planlosen Sammlung von allerlei Erfahrungen über Gefühle eine geregelte, unter Zuhilfenahme zweckmäßig ausgewählter Reize arbeitende Selbstbeobachtung zu setzen, hat wohl zuerst GOETHE in seinen Untersuchungen über die Gefühlswirkungen der Farben zur Anwendung gebracht[1]. Er darf daher mit Fug und Recht der Begründer der »Eindrucksmethode« genannt werden. Das Vergleichungsverfahren liegt freilich seinen Beobachtungen mehr stillschweigend als ausdrücklich zugrunde. Selbst empfiehlt er hauptsächlich die möglichst reine, andere Eindrücke fernhaltende Einwirkung der Reize, also gleichförmige farbige Umgebung oder Betrachtung einer Landschaft durch farbige Gläser, wo im letzteren Fall allerdings die Assoziation eine bedeutsame mitwirkende Rolle spielen dürfte (vgl. unten 4, c). Weitergebildet wurde dann die Eindrucksmethode hauptsächlich durch FECHNER, der das Verfahren planmäßiger Vergleichung in sie einführte. Dabei waren jedoch seine Methoden im einzelnen durch das spezielle Gebiet der durch einfache Raumobjekte erweckten ästhetischen Elementargefühle bestimmt und daher auf andere und namentlich einfachere Gefühlsformen nicht in jeder Beziehung übertragbar[2]. Eine Verbindung der Eindrucks- mit der Ausdrucksmethode haben endlich meist die neueren Beobachter erstrebt, unter denen sich an erster Stelle ALFR. LEHMANN durch die Verbesserungen der experimentellen Technik und durch die Sammlung eines reichen Versuchsmaterials verdient gemacht hat[3]. An seine Versuche schlossen sich weiterhin die nach ähnlichen Methoden ausgeführten von MENTZ, BRAHN, MEUMANN und ZONEFF, GENT, ALECHSIEFF u. A. Ebenfalls unter gelegentlicher Zuhilfenahme der physischen Symptome, namentlich der respiratorischen, hat überdies O. VOGT die Methode der subjektiven Gefühlsanalyse nach einer besonderen Richtung auszubilden gesucht, indem er sie mit dem hypnotischen Experimente verband. Er führte an geeigneten und dazu besonders eingeübten Versuchspersonen durch Suggestion einen Zustand gelinder Hypnose herbei, in dem es gelang, die Individuen zu einer durch die sonstige Einengung des Bewußtseins wesentlich unterstützten Selbstbeobachtung der Gefühle mittels der vom Hypnotisierenden an sie gerichteten Fragen anzuregen. VOGT ließ dabei in der Regel bestimmte Sinneseindrücke einwirken und suchte dann eine Selbstanalyse der darauffolgenden Gefühle zu gewinnen[4]. Lassen sich alle diese Verfahrungsweisen als Modifikationen der experimentellen Methode betrachten, die unter günstigen Umständen einander unterstützen können, so kann das nicht in gleicher Weise von der in neuerer

---

[1] GOETHE, Zur Farbenlehre. Didaktischer Teil, 6. Abt.: »Sinnlich-sittliche Wirkung der Farben«. Werke, Weimarer Ausg., 2. Abt. Bd. 1, S. 307 ff.

[2] FECHNER, Zur experimentalen Ästhetik. Abh. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 9, 1871, S. 555 ff. Vorschule der Ästhetik, Bd. 1, 1876, S. 184 ff. Über weitere Anwendungen der Vergleichsmethode bei Raumobjekten vgl. WITMER, Philos. Stud. Bd. 9, 1894, S. 122 ff., bei Farbeneindrücken J. COHN, ebend. Bd. 10, 1894, S. 604 ff. D. R. MAJOR, Am. Journ. of Psychology, vol. 7, 1895, p. 57.

[3] ALFR. LEHMANN, Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände, 2 Teile, 1899—1901. Mit Atlas.

[4] O. VOGT, Die direkte psychologische Experimentalmethode in hypnotischen Bewußtseinszuständen. Zeitschrift für Hypnotismus usw. Bd. 5, 1897, S. 7, 180 ff. Vgl. dazu ebend. Bd. 3, S. 299, und Bd. 4, S. 32, 122 ff., sowie MARCINOWSKI, Selbstbeobachtungen in der Hypnose, ebend. Bd. 9, 1900, S. 5, 177 ff., und ISENBERG und VOGT, ebend. Bd. 10, 1900, S. 131 ff.

Zeit vielfach angewandten und oft mit Unrecht ebenfalls dem Gebiet des Experimentes zugezählten »Fragebogenmethode« gesagt werden. Man versendet Bogen mit einer Anzahl Fragen (z. B. »welche Farben sind Ihnen angenehm, welche unangenehm?«, »denken Sie bei gewissen Farben an bestimmte Klänge, Geschmäcke?« usw.) an eine möglichst große Zahl von Personen, sammelt die Antworten und sucht sie statistisch zu verarbeiten. Daß diese Methode lediglich die Mängel der gewöhnlichen, nicht experimentell kontrollierten Selbstbeobachtung durch die bei ihr unvermeidlichen Mißverständnisse, die unterschiedslose Behandlung guter und schlechter, zuverlässiger und unzuverlässiger Beobachter ins Unberechenbare vergrößert, ist an und für sich einleuchtend. Darum sollte man wenigstens die Anwendung derselben auf solche äußere Fragen beschränken, zu deren Beantwortung überhaupt keine psychologischen Beobachtungen erforderlich sind.

Bei allen hier im allgemeinen geforderten Kombinationen der Eindrucks- mit der Ausdrucksmethode bedarf nun vor allem der der letzteren zufallende Anteil eines komplizierteren Apparates, der ursprünglich der physiologischen Technik entnommen, dann aber zum Teil zu psychologischen Zwecken weitergebildet worden ist. So ist schon der zur Aufzeichnung der respiratorischen, vasomotorischen und eventuell auch anderer Kurven, wie der ergographischen, dienende Apparat, das Kymographion, nicht in allen Formen, in denen es in der Physiologie mit Nutzen verwendet werden kann, wegen des mit dem Gang des Uhrwerks verbundenen Geräusches für psychologische Zwecke brauchbar. Ein sonst in ähnlichen Fällen mögliches Auskunftsmittel, die Unterbringung des Beobachters in einem von den Instrumenten entfernten Raum, der durch elektrische Leitungen mit den Instrumenten und dem Experimentator in Verbindung steht, ist bei diesen Versuchen, wo man direkter mechanischer Verbindungen mit den Registriervorrichtungen bedarf, nicht wohl anwendbar. Es bedarf daher vor allem eines fast vollkommen geräuschlosen Ganges des Apparates. Die Fig. 222 zeigt ein eigens zu diesem Zweck konstruiertes Kymographion. Die Geräuschlosigkeit wird teils durch das exakte Ineinandergreifen der Räder des Gewichtsuhrwerks, teils durch den Verschluß des letzteren in einem Gehäuse und endlich dadurch bewirkt, daß man den ganzen Apparat auf eine dicke Filzunterlage stellt. Der über dem Uhrwerk sich bewegende Windflügel sichert die Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit, die durch die Stellung des Windfangs, durch eine unten an der Achse der Trommel angebrachte Friktionsrolle sowie endlich auch durch verschiedene Belastung von 10 mm pro Sek. an bis auf 100 mm variiert werden kann. Der Apparat ist daher nicht bloß (bei der Anwendung der geringeren Geschwindigkeiten) zu diesen Versuchen, sondern auch (bei den größeren Geschwindigkeiten) eventuell zu den später (in Abschn. V) zu beschreibenden Messungen der »Reaktionszeiten« verwendbar. Ein besonderes Stativ dient zur Aufnahme der Registrierapparate, die mittels einer Schraube auf und ab bewegt werden können. Die Fig. 222 zeigt den Apparat mit drei elektromagnetisch beweglichen Schreibhebeln, wie sie zu sonstigen Registrierversuchen dienen. Für die Zwecke der Ausdrucksmethode ersetzt man dieselben durch die unten zu erwähnenden Mareyschen Puls- und Respirationsschreiber. Die Trommel des Kymographions wird vor dem Versuch mit weißem Papier überzogen und dann über einer Gasflamme gleichförmig berußt. Man erhält so alle Kurven als weiße Zeichnungen auf schwarzem Grunde, die nach der Beendigung des

Versuchs mittels alkoholischer Mastixlösung fixiert werden können. In vielen Fällen ist es jedoch wünschenswert, während einer längeren Zeit kontinuierlich Puls- und Atemwellen aufzunehmen. Dazu reicht dieses einfachere Kymographion wegen des kleinen Durchmessers seiner Trommel nicht mehr aus, sondern es ist zweckmäßig, sich eines andern Apparates zu bedienen, der zwar nicht den gleichen Grad der Geräuschlosigkeit möglich macht, aber immerhin noch hinreichend ruhig geht, um den Beobachter bei einiger Übung nicht zu stören. Hier leistet das in Fig. 223 abgebildete Epsteinsche Kymographion sehr gute Dienste. Es besteht aus zwei Trommeln *D* und *E*, die 1 m weit voneinander entfernt und durch die mittels der Stützen *B B* dem Tisch *A* aufruhende Stange *C* verbunden sind. Bei *E* befindet sich das Gewichtsuhrwerk *F* mit den seine Geschwindigkeit regulierenden Windflügeln *d*. Das um die

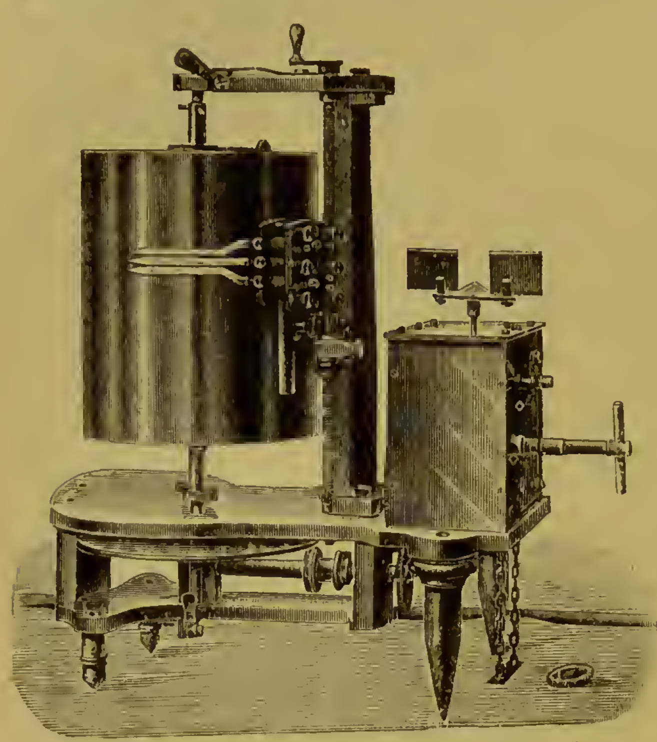


Fig. 222. Geräuschloses Kymographion für psychologische Zwecke.

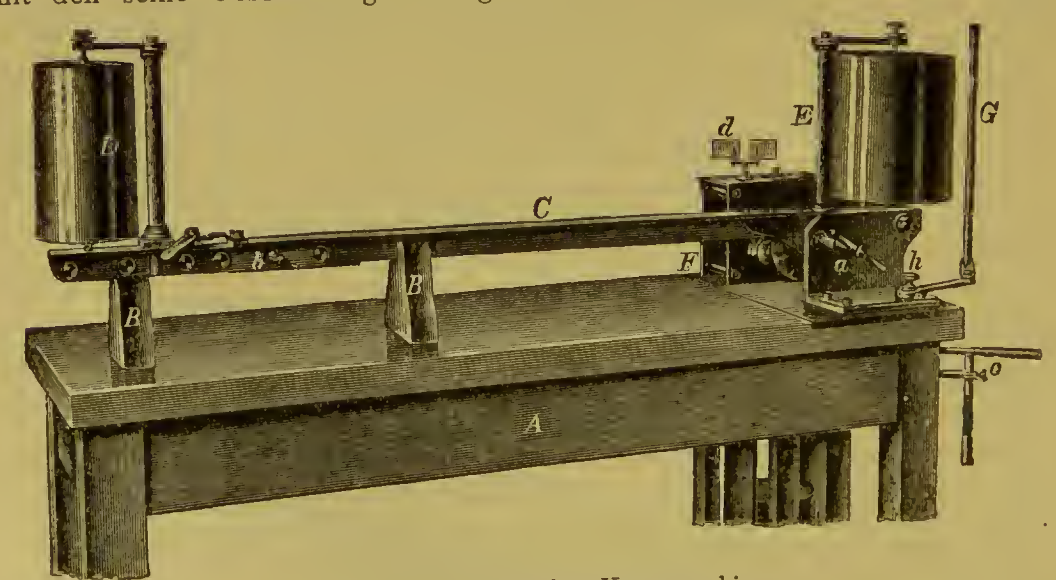


Fig. 223. Epsteinsches Kymographion.

Achse *h* drehbare Stativ *G* nimmt die Registriervorrichtungen auf. Um beide Trommeln *D* und *E* wird eine Papierschleife von gleicher Höhe mit ihnen

und von $2^1/_2$ m Länge geschlungen, die man vor dem Versuch an dem Apparate selbst berußt, indem durch Lösung des Schlüssels bei *a* die Stange *C* gehoben und in eine vertikale Stellung gebracht werden kann, so daß die Achsen der Trommeln *D* und *E* horizontal liegen. Bei *o* befindet sich dann ein Gasbrenner, der die Papierschleife berußt, wenn man dieselbe durch Drehung der Trommeln rasch über die Flamme hinwegbewegt.

Die verschiedenen Registriervorrichtungen für Puls und Atmung beim lebenden Menschen sind von dem ältesten dieser Instrumente, von dem der Aufzeichnung des Pulses der Radialarterie dienenden Sphygmographen, ausgegangen. Unter den mannigfaltigen Instrumenten dieser Art verdient für psychologische Zwecke der Mareysche Transmissionssphygmograph schon um deswillen den Vorzug, weil er sich am unmittelbarsten den hierbei womöglich stets gleichzeitig anzuwendenden pneumographischen Vorrichtungen anschließt und die einfachste Verbindungsweise mit den oben beschriebenen Kymographien zuläßt. Das Instrument (Fig. 224) besteht im wesentlichen aus einem in seiner Mitte mit einem Schlitz versehenen Blechdeckel, dessen Wölbung

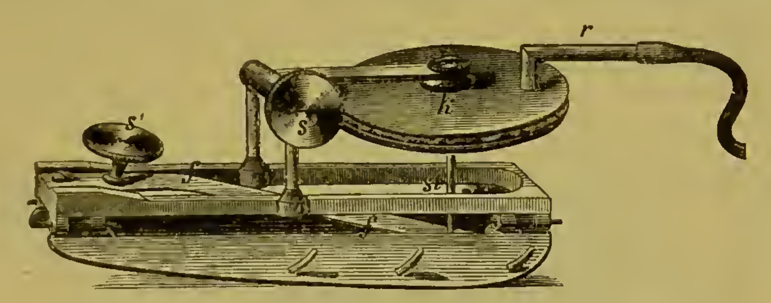


Fig. 224. Transmissionssphygmograph nach Marey.

sich der Volarseite des Vorderarms an der Stelle der Radialarterie anschließt. In den Schlitz reicht die Feder *ff*, die an ihrem unteren Ende mit einem kleinen Kissen versehen ist, das direkt auf der Arterie aufliegt. Hat man die richtige Lage dieses Kissens gefunden, so wird das ganze Instrument durch Bänder, die an den am Rand hervorstehenden Stiften angebracht sind, am Arm festgeschnürt. Dem Kissen gegenüber befindet sich an der Feder der vertikale Stift *st*, der mit seinem oberen Ende mit der Luftkapsel *k*, einem Mareyschen »Tambour«, in Kontakt steht. Diese Kapsel besteht aus zwei durch einen Kautschukring verbundenen Metallplättchen, von denen das untere in der Mitte eine kleine runde Öffnung hat, die mit einer Kautschukmembran verschlossen ist, während an dem oberen ein mittels der Schraube *s* drehbarer und festzustellender Hebel angreift, der zur richtigen Einstellung der Kapsel dient. Ist diese erfolgt, so wird durch die Schraube *s'* die Spannung der Feder *ff* reguliert. Aus dem Luftraum der Kapsel erhebt sich das Rohr *r*, das in einen Kautschukschlauch übergeht. Dieser ist an seinem andern Ende mit einem ähnlichen »Tambour« verbunden, auf dessen oberer, in der Mitte mit einem Kautschukplättchen verschlossener Platte ein Schreibhebel aufruht, der die Pulskurven direkt auf das berußte Papier des Kymographions zeichnet (Fig. 225). Bei der Beurteilung der Pulskurven und ihrer Veränderungen infolge bestimmter Gefühlserregung ist natürlich überall das Verhältnis zu dem relativ gefühlsfreien Normalzustand maßgebend. Dabei sind hauptsächlich die

drei Momente der Höhe, der Frequenz und der Verlaufsform der Pulse in Betracht zu ziehen. In letzterer Beziehung ist namentlich das Verhältnis in der Geschwindigkeit des Anstiegs und Abfalls sowie im fallenden Teil die mehr oder minder starke Ausprägung einer Nachschwingung charakteristisch. Bei intensiven und wechselnden Affekterregungen kommen dazu noch Unregelmäßigkeiten der Frequenz und Höhe, völliges Aussetzen der Pulse u. dergl.[1].

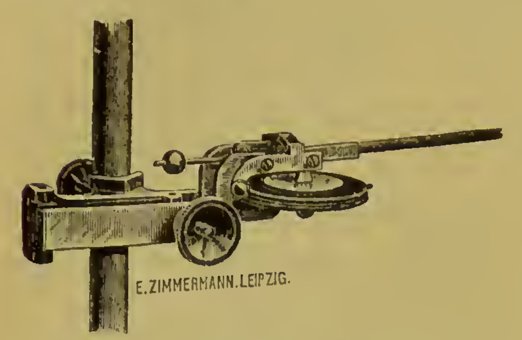


Fig. 225. MAREYscher Tambour mit Schreibhebel.

Auf dem nämlichen Prinzip wie der Sphygmograph beruht der zur Registrierung der respiratorischen Bewegungen dienende Pneumograph, der ebenfalls durch MAREY seine auch zu psychologischen Zwecken geeignetste Form gewonnen hat (Fig. 226). Die elastische Stahlplatte *p* wird mittels der zwei in sie eingelenkten Scharnierhebel *a* und *a'* und der Bänder *b b'* um die Brust geschnallt. Ein weiterer auf der Platte *p* aufruhender Scharnierhebel verbindet diese mit der Luftkapsel *k*, von welcher letzteren wieder,

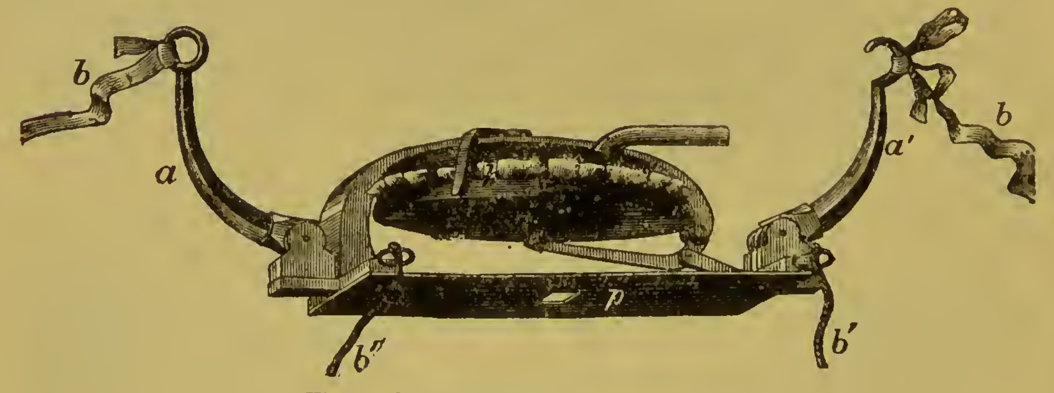


Fig. 226. Pneumograph nach MAREY.

ähnlich wie bei dem Sphygmographen, ein in einen Kautschukschlauch übergehendes Rohr zu einem die Registrierung besorgenden MAREYschen Tambour mit Schreibhebel führt. Bei der Inspiration werden durch die Ausdehnung des Brustraumes die federnden Hebel *a a'* auseinandergedrängt, wodurch sich der gegen die Luftkapsel andrückende Scharnierhebel senkt; bei der Exspiration tritt infolge der Elastizität der Platte *p* die entgegengesetzte Bewegung ein. Demnach entspricht die Inspiration der Senkung, die Exspiration der Erhebung der respiratorischen Kurven. Da die verschiedenen Teile des Brustkorbes in ihren Bewegungen durchaus nicht parallel gehen, vielmehr besonders die thorakale und die abdominale Atmung ein abweichendes Verhalten darbieten können, so ist es übrigens zweckmäßig, wenn der Gang der Respirationsbewegungen genauer verfolgt werden soll, zwei Pneumographen, den einen

[1] M. VON FREY, Die Untersuchung des Pulses. 1893.

in der oberen, den andern in der unteren Brustgegend aufzusetzen. Bei der Beurteilung der Respirationskurven ist ferner neben der überall im Verhältnis zur Normalhöhe zu bemessenden Höhe dieser Kurven oder der »Atemgröße« erstens die relative Atemfrequenz sowie das Verhältnis der Inspirations- zur Exspirationsdauer $\left(\frac{J}{E}\right)$ in Betracht zu ziehen[1].

Zur Registrierung der durch den Wechsel der Gefäßinnervation bedingten Schwankungen des Volumpulses dient Mossos Plethysmograph. Als eine für psychologische Zwecke sehr nützliche Form desselben hat sich der Lehmannsche Luft-Plethysmograph bewährt (Fig. 227). Das Glasgefäß *G* dient zur Aufnahme einer Hand. Die rechts liegende Öffnung des Gefäßes ist mit einer Kautschukmanschette versehen, die sich um die hineingesteckte Hand luftdicht anschließt. Die auf einem Schlitz des Tischbretts durch eine Schraube verstellbare Armstütze *A* dient zur Auflagerung und Fixierung des Arms in der Ellenbogenbeuge. Das Steigrohr *R* geht oben in ein enges Röhrchen

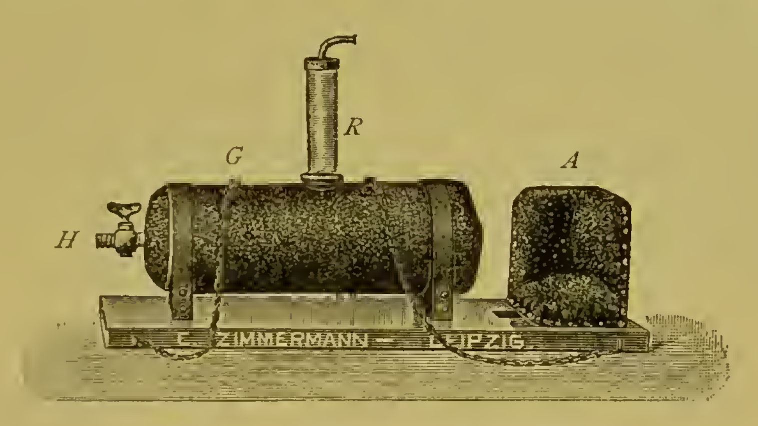


Fig. 227. Lehmanns Plethysmograph.

und durch dieses in einen Kautschukschlauch über, der wieder in einen Mareyschen Registriertambour mündet. Der Hahn *H* führt in eine weitere Röhre, die durch einen Schlauch mit dem Boden eines in gleicher Höhe mit der Röhre *R* an einem Stativ auf und ab zu bewegenden Wassergefäßes verbunden ist. Von diesem Wassergefäß aus wird, nachdem die Hand eingeführt ist, das Gefäß *G* mit lauwarmem Wasser gefüllt, bis alle Luft ausgetrieben und das Wasser in *R* bis etwa zu mittlerer Höhe gestiegen ist. Dann wird der Hahn *H* geschlossen und das Rohr *R* mit dem Schreibtambour in Verbindung gesetzt. Die so gewonnene plethysmographische Kurve zeigt deutlich die Zusammensetzung aus den sich rasch folgenden arteriellen Blutdruckkurven, die im wesentlichen den sphygmographischen Kurven gleichen, nur ausgiebiger als diese sind, und aus den langsameren, hauptsächlich durch die wechselnde Kontraktion und Dilatation der gesamten Gefäßwände bestimmten Volumschwankungen. Bei vorsichtiger, die Beimengung zu großer Eigenschwingungen der Flüssigkeit vermeidender Einstellung ersetzt also der Plethysmograph zugleich den Sphygmographen. Das Instrument verdient in einer Form, in der

[1] Störring, Archiv für die ges. Psychologie, Bd. 6, 1906, S. 335.

es sich auf die Registrierung der Volumpulse der Hand beschränkt, und bei der man, wie bei dem Sphygmographen, Luftübertragung verwendet, für psychologische Zwecke wegen der relativen Einfachheit seiner Anwendung und der ziemlich treuen Wiedergabe auch der sphygmographischen Kurven vor dem Hydroplethysmographen Mossos den Vorzug. Überhaupt aber bedarf die Anwendung des Instrumentes großer Vorsicht zur Vermeidung von Fehlerquellen. So können namentlich unwillkürliche Bewegungen der im Wassergefäß befindlichen Hand mehr oder minder starke Oszillationen erzeugen, die sich mit den Volumkurven vermischen oder sie ganz überdecken[1]. Für exakte Versuche ist daher die sphygmometrische und pheumographische Methode in unabhängiger Anwendung im ganzen vorzuziehen, wozu dann in einzelnen Versuchen das Plethysmogramm, da dieses das einzige Hilfsmittel zur Registrierung der durch die Gefäßinnervation verursachten Volumschwankungen bleibt, hinzutreten kann. Ebenso leistet das letztere für Demonstrationsversuche, bei denen man die Gesamtwirkung von Gefühlen oder Affekterregungen einem größeren Zuschauerkreis vorführen will, vortreffliche Dienste, falls man zugleich über eine durch Gefühlseindrücke leicht erregbare Versuchsperson verfügt. Nicht zu empfehlen ist es dagegen, eine weitere Vereinfachung der plethysmographischen Methodik dadurch zu erzielen, daß man kleinere Extremitätenteile, z. B. einzelne Finger, zur Gewinnung von Volumpulskurven verwendet, wie bei dem sinnreich konstruierten Sphygmomanometer Mossos, dem Volumsphygmographen von François-Franck, dem Apparat von Hallion und Comte u. a. Bei diesen Apparaten spielt der veränderliche Turgor der Gewebe eine so überwiegende Rolle, daß die Eigentümlichkeiten der Volumkurven verdeckt werden. Bei starker Abkühlung der Finger pflegen diese dann ganz zu verschwinden[2].

Zur Untersuchung des unter dem Einfluß von Gefühlszuständen oder auch von andern physischen und psychophysischen Bedingungen sich sehr verschieden gestaltenden Verlaufs der Muskelermüdung pflegt man endlich den ebenfalls zuerst von Mosso angegebenen Ergographen anzuwenden (Fig. 228). Das Instrument besteht aus zwei voneinander getrennten Teilen, einem auf dem Arbeitstisch festgeschraubten Armbrett, in welchem der Vorderarm durch Kissen und Zeige- und Ringfinger in Messingröhren unverrückbar fixiert werden, so daß allein der Mittelfinger, dessen Arbeit untersucht wird, beweglich bleibt. An dem Mittelglied dieses Fingers ist mittels einer umschließenden Metallkapsel eine Schnur befestigt, die über eine Rolle läuft und das Belastungsgewicht trägt. Man läßt den Finger gewöhnlich in rhythmischen Pausen seine Kontraktionen ausführen, deren Umfang nun entweder direkt an einem Zentimetermaßstab, an dem sich eine Marke der horizontal aus-

---

[1] Götz Martius, Beiträge zur Psychologie und Philosophie, I, S. 430. Zur Frage der Verwendung des Plethysmographen überhaupt W. Gent, Philos. Stud. Bd. 18, S. 725.

[2] Vgl. Hallion et Comte, Arch. de physiol. 1894, p. 381. Über Mossos Sphygmomanometer Kiesow, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 41 ff. Arch. ital. de biologie, t. 23, 1895, p. 198. Verschiedene Forscher haben trotz dieser Übelstände die plethysmographischen Vorrichtungen dieser Art, wie es scheint, deshalb bevorzugt, weil sie der Meinung sind, es sei besonders wertvoll, den Zustand der kleinsten Gefäße, den »pouls capillaire« (?), zu untersuchen. Binet et Vaschide, Année psychol., t. 3, 1897, p. 127. J. R. Angell and B. Thompson, Psychol. Review, vol. 6, p. 32. Weitere Modifikationen des Mossoschen Plethysmographen rühren von Marey, A. Fick, Hürthle, Kronecker her. Vgl. über einige derselben Langendorff, Physiol. Graphik, S. 237 ff.

gespannten Schnur hin und her bewegt, abgelesen wird, oder die man noch besser mittels des in Fig. 229 besonders abgebildeten Vertikalschreibers in vertikale Bewegungen umsetzt und auf ein Kymographion aufzeichnen läßt. Die horizontale Schnur dieses Schreibers wird an der Ergographenschnur befestigt, und ihre Bewegungen übertragen sich dann mittels der beiden Rollen auf einen beweglichen Schlitten, der die schreibende Feder trägt. Gewöhnlich wird der Ergograph in der in Fig. 228 dargestellten Weise zu Versuchen mit Beugung des Fingerglieds verwendet. Doch läßt er sich, wenn man die Gewichtsschnur unter dem Armlager hindurch zu einer am entgegengesetzten Ende des Tisches angebrachten Rolle leitet, leicht auch für Streckversuche einrichten[1].

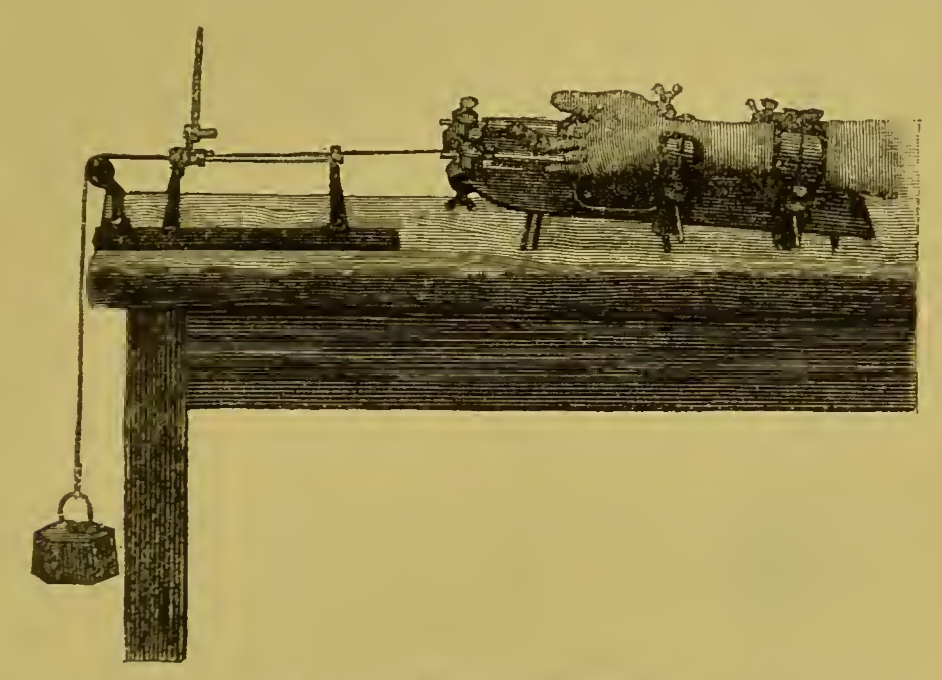


Fig. 228. Ergograph nach Mosso.

Die Anfänge zur Ausbildung der »Ausdrucksmethode« in der für die Analyse der einfachen Gefühle bedeutsamsten Richtung auf die der äußeren Beobachtung nicht unmittelbar zugänglichen Innervationsänderungen liegen in der Sphygmometrie und in den Bestrebungen, dieses diagnostische Hilfsmittel über den Bereich des Krankenzimmers hinaus, namentlich zur psychopathischen Diagnose zu verwerten. Hier lag ja die Beziehung zu Gefühls- und Affektformen nahe genug. Dennoch ging der Weg zu einer psychophysischen Verwertung dieser Untersuchungsmethoden zunächst von einem

[1] A. Mosso, Die Ermüdung. Deutsch von J. Glinzer. 1893, S. 85 ff. Über Anwendung und Verbesserungen des Apparates vgl. Hoch und Kraepelin, Kraepelins Psycholog. Arbeiten, Bd. 1. 1896, S. 380 ff. Schenck, Pflügers Archiv. Bd. 82, 1900. S. 384. Treves, ebend. Bd. 88, 1902, S. 7. A. Bergström, Am. Journ. of Psychol. vol. 14, 1903, p. 510 ff. Abbildungen verschiedener Formen von Ergographen bei R. Schulze, Aus der Werkstatt der experimentellen Psychologie und Pädagogik, 1909. S. 226 ff.

ganz andern Punkte aus. In einer Reihe von Arbeiten verfolgte ANGELO MOSSO den Plan, über die Schwankungen der Blutfülle des Gehirns dadurch Aufschluß zu gewinnen, daß er einen größeren, für sich isolierbaren Körperteil, wie den Arm oder das Bein, in einen hermetisch geschlossenen, mit Wasser gefüllten Raum brachte, worauf er dann die Volumschwankungen am Kymographion aufzeichnen ließ. Da das Gehirn zu den Organen gehört, deren Funktion jedenfalls mit einem besonders energischen Stoffverbrauch verbunden ist, so ging er von der Voraussetzung aus, jede Volumabnahme eines größeren peripheren Körperteils bedeute eine Zunahme des Blutzuflusses zum Gehirn, und umgekehrt jede Volumzunahme dort ein vermehrtes Ausströmen des Blutes aus dem Gehirn. Er glaubte so ein indirektes Maß für den Stoffverbrauch im Gehirn namentlich bei intellektueller Arbeit, dann aber auch in verschiedenen psychophysischen Zuständen, wie z. B. im Schlaf gegenüber dem wachen Zustand, zu gewinnen. Dieser Gedanke führte ihn zur Konstruktion seines Hydroplethysmographen, bei dem eben deshalb besonderer Wert darauf gelegt war, die wirklichen Volumschwankungen des untersuchten Gliedes zu registrieren, und den Umfang des letzteren hinreichend groß zu wählen, um dasselbe gewissermaßen als Vertreter des ganzen übrigen Körpers in seinem Verhältnis zum Schädelraum und seinem Inhalte betrachten zu können[1]. Aber dieser Weg hat sich, obgleich er die Psychologie mit einem wertvollen Instrument beschenkte, doch als ein Irrweg erwiesen, wie MOSSO selbst als einer der ersten erkannt hat[2]. In der Tat beruht der symptomatische Wert der plethysmographischen Methode auf einem ganz andern Moment als dem, worin man ihn ursprünglich gesehen. Wäre man imstande, die Schwankungen des Blutzuflusses zum Gehirn zu messen, so möchte das ja immerhin von Interesse sein. Aber wenn man, wie das wahrscheinlich ist, dabei erführe, daß das tätige Gehirn mehr Blut konsumiert als das untätige, so würde das doch im Grunde nur eine Bestätigung dessen sein, was man vorher schon gewußt hat. Seitdem man die plethysmographische Kurve, ebenso wie die sphygmo- und pneumographische, lediglich als ein Symptom bestimmter Innervationsänderungen hat auffassen lernen, ist ihre psychophysische Bedeutung eine wesentlich andere und vielseitigere geworden. Vermögen wir auch

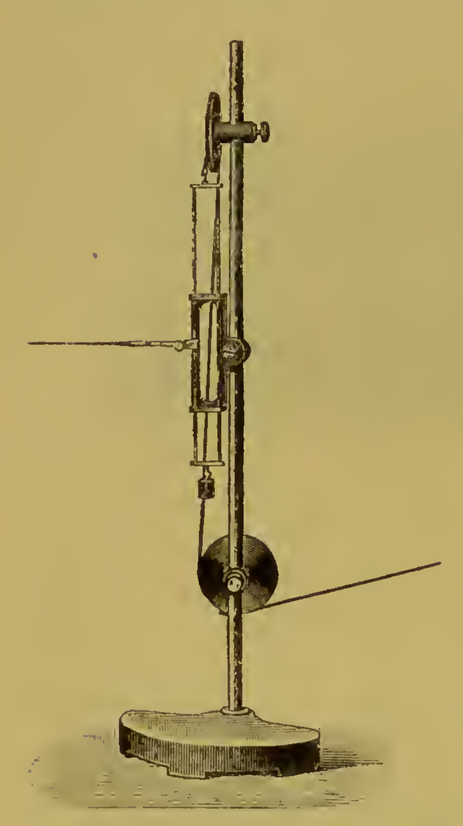


Fig. 229. Vertikalschreiber zum Ergographen.

[1] A. MOSSO, Über den Kreislauf des Blutes im menschlichen Gehirn. 1881. Über Fälle, in denen sich die Blutzirkulation im Gehirn und die Volumschwankungen des letzteren infolge von Defekten des Schädeldachs direkt beobachten ließen vgl. HANS BERGER, Über die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. II. Teil (mit Atlas). 1907.

[2] A. MOSSO, Die Temperatur des Gehirns. 1894, S. 135 ff.

nichts darüber auszusagen, wie die Änderungen des Volums eines untersuchten Teils mit den Änderungen der Blutverteilung im Gehirn oder in irgendeinem andern Organ verbunden sind, so sind sie doch Anzeichen bestimmter zentraler Innervationsprozesse, die in ihren mannigfaltigen Formen, insoweit sie eine regelmäßige Beziehung zu bestimmten psychischen Vorgängen oder Zuständen erkennen lassen, zunächst einen rein diagnostischen Wert besitzen, dann aber auch weiterhin auf physiologische Beziehungen der beobachteten Bewußtseinsvorgänge hinweisen, die als solche in das Gebiet der allgemeineren psychophysischen Probleme hinüberreichen. Aus dieser veränderten Verwertung der plethysmographischen, ebenso wie der sphygmo- und pneumographischen Versuche entspringen dann aber auch abweichende methodische Gesichtspunkte. Denn nunmehr handelt es sich nicht mehr darum, möglichst vollständigen Aufschluß über die Volumschwankungen des untersuchten Organs zu gewinnen, sondern darum, die graphische Wiedergabe zu einem möglichst empfindlichen Hilfsmittel für die Nachweisung des Wechsels der Innervationsvorgänge zu gestalten. Es bedarf jedoch, um einen vollständigen Überblick über dieses ganze Funktionsgebiet zu gewinnen, schon wegen der oben erwähnten Wechselbeziehungen zwischen den vasomotorischen und respiratorischen Bewegungen mindestens der daneben aufzunehmenden sphygmo- und pneumographischen Kurven, und die Sonderung der letzteren von der plethysmographischen Untersuchung empfiehlt sich schon im Hinblick auf die wünschenswerte Vereinfachung dieser komplizierten Registriermethoden. Es ist hauptsächlich das Verdienst ALFR. LEHMANNS, von diesen Gesichtspunkten aus die plethysmographische Methode zur Untersuchung der physiologischen Begleiterscheinungen der psychischen Vorgänge angewandt zu haben[1]. Wenn die folgende Erörterung der Ergebnisse in vielen Punkten zu Resultaten gelangen wird, die mit den von LEHMANN gezogenen Schlüssen nicht übereinstimmen, so darf wohl hier auf die zwei Hauptursachen hingewiesen werden, die dieser Differenz zugrunde liegen dürften. Die erste liegt in dem Umstande, daß LEHMANN der respiratorischen Kurve noch nicht die Aufmerksamkeit geschenkt hat, die sie schon im Hinblick auf die vasomotorischen Wirkungen der Atmung verdient. Auf diesen Punkt hat besonders E. MEUMANN hingewiesen, der mit Recht hervorhob, daß von allen diesen graphischen Hilfsmitteln eventuell am ehesten das Pneumogramm für sich allein einen diagnostischen Wert besitzen kann, weil die Einflüsse der verschiedenen Innervationen aufeinander durchweg von den respiratorischen zu den vasomotorischen Symptomen, kaum aber umgekehrt gerichtet sind[2]. Zweitens steht LEHMANNS Auffassung unter der ausschließlichen Herrschaft der Lust-Unlusttheorie, d. h. jener Ansicht, nach welcher es außer Lust und Unlust überhaupt keine Gefühlsinhalte des Bewußtseins geben soll. Diese zwingt ihn, alle Symptome, die sich nicht unter einen dieser beiden Begriffe bringen lassen, auf irgendwelche Momente rein physiologischer oder intellektueller Art zu beziehen. Hält man die von LEHMANN mitgeteilten Kurven mit seiner eigenen Schilderung der Bedingungen, unter denen sie gewonnen sind, und der dabei von ihm beobachteten Empfindungen und physiologischen Zustände

[1] ALFR. LEHMANN, Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892. Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. 1. Teil. 1899. 2. Teil. 1901. Dazu ein Atlas von 58 Tafeln. 1898.

[2] E. MEUMANN, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 1 ff.

zusammen, so kann man daher kaum umhin, aus diesen Kurven Resultate herauszulesen, die über die von LEHMANN selbst abgesteckten Grenzen hinausreichen.

Dieselben Gesichtspunkte wie für die Beurteilung der vasomotorischen und respiratorischen gelten natürlich auch für die der ergographischen Kurven. Nur ist zu beachten, daß hier die Beziehung zwischen psychischen Vorgängen und physischen Begleiterscheinungen eine noch sehr viel verwickeltere und durch mannigfach wechselnde Nebeneinflüsse gestörtere ist. Dies ist um so mehr zu betonen, da die relative Leichtigkeit der Anwendung des Ergographen manchmal über diese Schwierigkeit der Deutung der Resultate hinwegzutäuschen scheint. Wenn z. B. einzelne pädagogisch-psychologische Experimentalarbeiten ganz auf die Voraussetzung gegründet sind, die ergographische Kurve sei ein Maß »geistiger Ermüdung«, so ist eine solche Voraussetzung von vornherein unwahrscheinlich, wie sich denn auch dieselbe bei sorgfältiger Nachprüfung durchweg nicht bestätigt hat[1].

2. Grundformen der Gefühle.

a. Subjektive Gefühlsanalyse.

Wenn wir, dem allgemeinen Prinzip der »Eindrucksmethode« folgend, Reize von verschiedener Qualität und Stärke auf unsere Sinne einwirken lassen, und wenn wir uns dabei zunächst auf diejenigen Sinnesgebiete beschränken, deren Eindrücke schon nach so manchen zufällig sich aufdrängenden Erfahrungen von besonders lebhaften Gefühlsreaktionen begleitet sind, auf die Haut- und Gemeinempfindungen, den Geruchs- und Geschmackssinn, so drängen sich vor allem zwei Gefühlsformen unserer Beachtung auf: die Lust und die Unlust, zwischen denen als indifferente Mitte der bei gleichgültigen Eindrücken wahrzunehmende gefühlsfreie Zustand zu liegen scheint. Die behagliche Wärme bei mäßiger Temperaturerhöhung des zuvor abgekühlten Tastorgans, die Erregung der Muskeln bei nicht anstrengender Arbeit, das leise Kitzelgefühl bei gewissen schwachen Hautreizen, endlich eine ganze Reihe von Geruchsreizen, so lange sie nicht zu lang oder zu intensiv einwirken, wie die ätherischen, aromatischen, balsamischen Gerüche, unter den Geschmacksreizen das Süße, erregen in uns Gefühle, die unter sich wieder mannigfach qualitativ differieren mögen, die uns aber dabei doch insoweit verwandt erscheinen, daß wir das Wort Lust als einen für sie alle adäquaten Ausdruck anerkennen. Auf der andern Seite besitzen für uns starke Wärme-, Kälte- und Schmerzempfindungen der Haut, Muskelerregungen bis zu erschöpfender Ermüdung, unangenehme oder ekelerregende Geruchs- oder Geschmacksreize nicht minder einen bei aller Verschiedenheit der einzelnen gemeinsamen

---

[1] Vgl. TH. L. BOLTON, KRAEPELINS Psychol. Arbeiten, Bd. 4, 1892, S. 175 ff.

Charakter, den wir als einen der Lust entgegengesetzten auffassen und daher mit dem Namen der Unlust belegen.

Keine Frage kann es also sein, daß, wenn wir unsere unmittelbare Erfahrung befragen, Lust und Unlust als zwei deutlich unterscheidbare Gefühlsformen uns entgegentreten. Auch kann es kaum wundernehmen, daß eine oberflächliche Betrachtung geneigt ist, bei dieser Unterscheidung stehen zu bleiben. Die Sinnesgebiete, an die wir uns bei der Frage nach der Existenz einfacher Gefühle zunächst zu wenden pflegen, sind eben die oben genannten, bei denen in der Tat Lust und Unlust eine hervorragende Rolle spielen. Denn naturgemäß pflegen wir bei jener Frage vor allem an diejenigen Inhalte unseres Bewußtseins zu denken, die unser gesamtes sinnliches Befinden bestimmen. Dazu kommt, daß, sobald an die Empfindungen der objektiven Sinne, des Gesichts- und Gehörssinnes, oder aber an zusammengesetztere psychische Vorgänge irgendwelche Gefühlselemente geknüpft sind, diese, wenn man sie überhaupt beachtet, leicht ohne weiteres mit den ästhetischen Gefühlen oder mit den Affekten, Aufmerksamkeitsvorgängen u. dergl. zusammengeworfen werden. Macht man sich jedoch von diesem Vorurteil frei, sucht man, eine planmäßigere Verwendung der Eindrucksmethode zu Hilfe nehmend, und von der Erwägung ausgehend, daß auch hier die zusammengesetzten Prozesse in einfachere zerlegbar sein müssen, die subjektive Analyse der Gefühle über ein weiteres Beobachtungsgebiet auszudehnen, so drängt sich unweigerlich eine Anzahl seelischer Zustände der Wahrnehmung auf, denen man zwar durchaus den Charakter von Gefühlen zuerkennen muß, die sich aber in die Schablone der Lust und Unlust nimmermehr einzwängen lassen. Freilich darf man dann nicht mehr als Kriterium eines Gefühls, wie es häufig geschehen ist, eben nur dieses anwenden, daß der gegebene Bewußtseinsinhalt auf Lust oder Unlust zurückzuführen sei, sondern jenes allgemeinere, daß wir den Zustand als einen subjektiven, nicht auf Eigenschaften der Objekte, sondern auf ein Verhalten des erlebenden Subjektes selbst bezogenen in dem früher (Bd. 1, S. 409) festgestellten Sinne auffassen. Tun wir dies, so geben nun zunächst die einfachen Licht- und Farbeneindrücke zur Aussonderung von Gefühlselementen Anlaß, die wohl häufig in den Bereich der Lust- und Unlustreaktionen hinüberspielen, deren Grundcharakter aber doch offenbar ein wesentlich anderer ist. So mag man zugeben, daß dem Gegensatz von Licht und Dunkel, wie wir ihn z. B. beim Übertritt aus der Tagesbeleuchtung in einen finsteren Raum wahrnehmen, ein gewisses Lustgefühl, das an die Empfindung des Hellen, ein Unlustgefühl, das an die des Dunkeln geknüpft ist, entspricht. Aber bei unbefangener Beobachtung kann man doch nicht umhin einzugestehen, daß dadurch der

hier obwaltende wirkliche Gegensatz der Gefühle nicht nur nicht erschöpft wird, sondern daß das wesentlichere Gefühlselement unberücksichtigt geblieben ist. Wir fühlen uns, namentlich wenn ein höherer Grad seelischer Erregbarkeit die Entwickelung der Gefühle begünstigt, im Dunkeln herabgestimmt; und der Übergang in das Tageslicht macht auf uns einen diesen Druck beseitigenden und zugleich anregenden Eindruck. Noch deutlicher und freier von der Vermischung mit Lust oder Unlust treten uns solche Gefühlswirkungen bei bestimmten reinen Farbeneindrücken entgegen. Wenn ich zuerst ein spektralreines leuchtendes Rot und dann ein ebensolches Blau im Dunkelraum betrachte, so kann ich nicht umhin, beide als im hohen Grade erfreuende, also lusterregende Eindrücke zu charakterisieren. Gleichwohl erwecken beide ganz verschiedene Gefühle in mir, die ich wiederum, trotz ihrer besonderen Eigentümlichkeiten, in eine nahe Beziehung zu denen des Hellen und Dunkeln bringen kann. So ergeben sich Gegensätze, die offenbar mannigfach mit denen der Lust und Unlust sich kreuzen oder eventuell wohl auch ganz frei von denselben sein können, und für die wir wohl am zutreffendsten die Ausdrücke Erregung und Beruhigung oder für die höheren Grade des letzteren Gefühls wohl auch »Gedrücktsein« (Depression) wählen mögen. Sie spielen sichtlich auch bei dem gegensätzlichen Gefühlscharakter der hohen und tiefen Töne oder der scharfen und der weichen Klangfarben eine mitwirkende Rolle; und nicht minder werden wir, wenn wir einmal auf diese Richtungen als selbständige Komponenten unseres Gefühlslebens aufmerksam geworden sind, sie in zahlreichen Affekten, wie Freude, Zorn, Aufregung, Kummer, Erwartung, Hoffnung, Furcht, Sorge u. a., als Elemente wiederfinden.

Hat man sich aber erst mit der Erwägung vertraut gemacht, daß die Gefühle überhaupt in der Regel gar nicht als einfache Zustände, sondern in oft vielleicht sehr verwickelten Verbindungen in unserem Seelenleben vorkommen, so kann man sich nun weiterhin der Wahrnehmung nicht entziehen, daß eine Menge seelischer Vorgänge, die wir im gewöhnlichen Leben und demgemäß auch bei einer oberflächlichen psychologischen Beobachtung als »rein intellektuelle« auffassen, in Wirklichkeit immer zugleich von subjektiven Affektionen begleitet sind, die wir diesem ihrem allgemeinen Charakter nach der Gefühlsseite des Seelenlebens zurechnen müssen. Auch sie lassen sich freilich unter das Schema der Lust und Unlust gar nicht oder nur mit ganz unwesentlichen Begleitelementen, eher manchmal unter das der Erregung oder Beruhigung bringen; dabei treten aber nun doch entweder neben den Gefühlen der letzteren Art oder selbst ohne sie wiederum eigenartige Gefühlselemente hervor. Sie sind, wie man sich bei der Variation mannigfacher hierzu

geeigneter Eindrücke überzeugt, wohl am reinsten ausgeprägt in den Zuständen mäßig gespannter Aufmerksamkeit oder Erwartung. Zugleich treten sie uns abermals in gegensätzlichen Formen entgegen. Lauscht man z. B. mit mäßig gespannter Aufmerksamkeit den Schlägen eines langsam pendelnden Metronoms, so stellt sich in der Pause von einem Metronomschlag zum andern zunächst in allmählich wachsender Stärke ein Zustand ein, den wir nach dieser geläufigsten Entstehungsursache als den eines Spannungsgefühls bezeichnen können. Sobald dann der erwartete Pendelschlag eintritt, so wird dasselbe von einem entgegengesetzten Gefühl abgelöst: wir wollen es ein Gefühl der Lösung nennen. Beide können allerdings wieder mit Lust- und Unlust- oder auch mit Erregungs- und Beruhigungsgefühlen verbunden sein; aber sie können doch auch ohne eine subjektiv merkbare Beimengung derselben vorkommen. So findet sich namentlich das Lösungsgefühl nicht selten mit Lust verbunden, und das Spannungsgefühl kann mit Unlust, es kann aber auch mit Erregung kombiniert sein oder sogar von einem dieser Gefühle übertäubt werden. Trotzdem würde man, wie ich glaube, der Beobachtung entschieden Gewalt antun, wenn man diese eigenartigen Gefühle auf die vorigen zurückführen wollte: man würde dabei immer bei einer Menge konkreter seelischer Zustände stehen bleiben müssen, bei denen das überhaupt nicht gelänge, oder wo mindestens neben den andern Elementen noch ein selbständiges, nicht auf sie reduzierbares übrig bliebe. Auf solche Weise führt diese Analyse zugleich zu dem Ergebnis, daß in der Regel Elemente mehrerer Gefühle miteinander in einem konkreten seelischen Zustand gemischt sind, so daß die Fälle, wo das nicht zutrifft, Grenzfälle sind, die vielleicht in ganz reiner Form nur sehr selten vorkommen. Denn auch bei jenen Gefühlen des Haut-, Gemein-, Geruchs- und Geschmackssinnes, welche die gewöhnliche Betrachtung samt und sonders zwischen Lust und Unlust zu verteilen pflegt, wird man nicht umhin können, wenn man erst durch solche Erfahrungen bereichert zu ihnen zurückkehrt, ebenfalls andere Elemente meist als Nebenbestandteile wahrzunehmen. Wer vermöchte z. B. in dem Geruch des Menthol neben dem Lustelement ein erregendes, in dem Kitzelgefühl ein Element der Spannung, das wohl zuweilen auch in starke Erregung übergehen kann, zu verkennen? So drängt sich überhaupt, je genauer man zu analysieren sucht, um so unabweislicher die Überzeugung auf, daß im allgemeinen fast jedes Gefühl ein in mehrere Elemente zerlegbares Gebilde ist.

Trotzdem scheint es nicht zu gelingen, neben den oben unterschiedenen drei Gegensatzpaaren noch andere spezifisch abweichende Gefühlselemente, die sich nicht auf irgendeine der erwähnten Grundformen oder

auf eine Verbindung derselben zurückführen ließen, aufzufinden. Soviel man auch mit der Eindrucksmethode hin und her experimentieren oder die unten zu erörternden Ergebnisse der Ausdrucksmethode zu Hilfe nehmen mag, immer kommt man bei der Analyse der konkreten Gefühlszustände oder der zusammengesetzteren Gemütsbewegungen wieder auf diese zurück. Demnach werden wir berechtigt sein, sie als die einzigen Grundformen der Gefühle zu betrachten, die sich nachweisen lassen. Das gesamte System der Gefühle läßt sich aber danach als eine dreidimensionale Mannigfaltigkeit definieren, bei der jede Dimension je zwei entgegengesetzte Richtungen enthält, die sich ausschließen, während dagegen jede der so entstehenden sechs Grundrichtungen mit Gefühlen der beiden andern Dimensionen zusammen bestehen kann, nur daß selbstverständlich hier wiederum zwei einer und derselben Dimension angehörende entgegengesetzte Richtungen innerhalb eines momentanen Gefühlszustandes sich ausschließen. Hiernach können wir uns die Mannigfaltigkeit der Gefühle symbolisch durch ein geometrisches Gebilde von der in Fig. 230 dargestellten Form veranschaulichen. Das Lageverhältnis, in das hier die verschiedenen Gefühlsdimensionen zueinander gebracht sind, ist natürlich ein willkürliches. Nicht willkürlich ist aber, daß innerhalb einer jeden Dimension nur ein Fortschritt nach zwei einander entgegengesetzten Richtungen möglich ist, und daß sich sämtliche Dimensionen in einem einzigen Nullpunkte schneiden. Denn dies wird durch die wohl nicht abzuleugnende Tatsache gefordert, daß völlig gefühlsfreie Zustände zwar wahrscheinlich selten, daß sie aber immerhin möglich sind. Reine Lust-Unlustgefühle würden demnach solche sein, die in die Linie *ab* fallen, wobei diese Linie zugleich den möglichen Übergang von Lust in Unlust durch allmählich sich vermindernde Grade der ersteren und durch einen zwischen beiden liegenden Indifferenz- oder Nullpunkt zum Ausdruck bringt. Ebenso fallen die andern reinen Gefühlsformen in die als weitere Abszissenlinien des Systems zu betrachtenden Linien *cd* (Erregung-Beruhigung) und *cf* (Spannung-Lösung). In der Ebene *anc* kann man sich danach die in Lust und Erregung, in *and* die in Lust und Beruhigung zerlegbaren Gefühle angeordnet denken

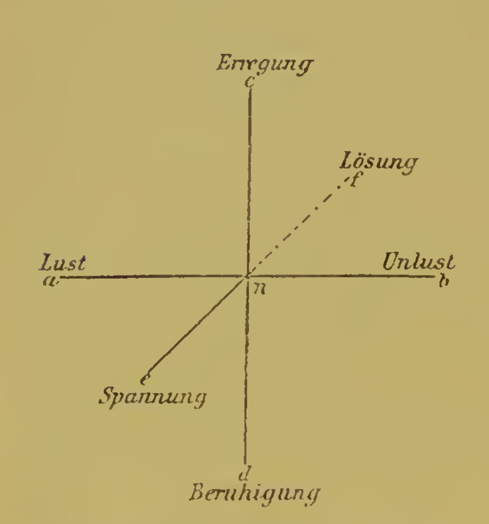


Fig. 230. Die Grundformen der Gefühle als dreidimensionale Mannigfaltigkeit.

usw., in dem von den Linien *na*, *nc* und *ne* umgrenzten Raum liegen die Gefühle, die gleichzeitig Lust, Erregung und Spannung enthalten usw. usw. Auf solche Weise deutet diese symbolische Darstellung zugleich an, daß nicht bloß der dem Punkte *n* entsprechende Indifferenzzustand, sondern daß in gewisser Beziehung teilweise auch die ein- und die zweidimensionalen Gefühle, die z. B. in *an* oder *anc* liegen, Grenzfälle bezeichnen, gegenüber dem allgemeinen Verhalten, bei dem ein konkretes Gefühl nach drei Richtungen hin bestimmt ist.

Denken wir uns so irgend ein einzelnes Gefühl durch einen einzelnen Punkt des in Fig. 230 dargestellten Kontinuums repräsentiert, so ist nun aber dabei weiterhin zu erwägen, daß ein solcher Punkt immer nur einen momentanen Gefühlszustand ausdrückt, und daß nie oder höchstens einmal annähernd ein solcher Momentanzustand andauert. Vielmehr ordnet sich jedes wirkliche Gefühl in einen Gefühlsverlauf ein, während dessen die einzelnen Gefühlskomponenten teils kontinuierliche, teils plötzliche Änderungen erfahren können. Um das Verhalten des Gefühls während eines derartigen Verlaufes symbolisch zu veranschaulichen, kann man die einzelnen Dimensionen des ganzen Gefühlskontinuums voneinander sondern, indem man die Veränderungen innerhalb einer jeden in der Form einer eigenen Kurve darstellt, bei der nun die Abszissenlinie den Zeiten entspricht, während ein Ansteigen über oder ein Sinken unter dieselbe die entgegengesetzten Gefühlsphasen innerhalb der gleichen Dimension andeutet. Stellen wir demnach durch die Linie *ab* in Fig. 231 die Zeitabszisse zum Verlauf der Lust-Unlust, durch *cd* die gleiche für die Erregungs-Beruhigungskurve und durch *ef* die für Spannung und Lösung dar, so werden, wenn die parallelen Linien *ab*, *cd*, *ef* einen und denselben Zeitverlauf bedeuten, nunmehr die drei Kurven den Gefühlsverlauf während dieser Zeit ausdrücken. In ihnen ist ohne weiteres zu erkennen, ob in irgendeinem Moment einer jener Grenzfälle vorkam, in denen entweder Gefühlsruhe herrschte oder bloß eine oder zwei Gefühlskomponenten zu bemerken waren. Ebenso lassen sich die Zeiten der Latenz

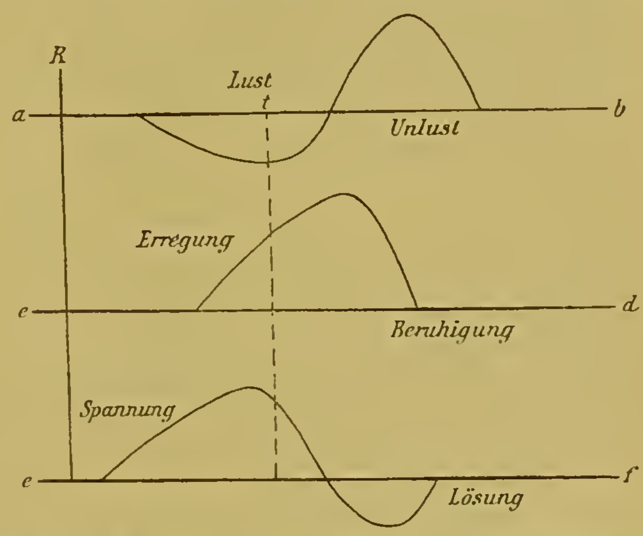


Fig. 231. Symbolische Darstellung eines Gefühlsverlaufs.

der einzelnen Komponenten in bezug auf den Zeitpunkt *R* eines den Gefühlsvorgang erweckenden Reizes bestimmen; und wenn man zu irgendeinem Zeitpunkte *t* eine Senkrechte durch die drei Kurven zieht, so ergeben die drei Ordinaten die Grade der momentanen Komponenten. Nun versteht sich von selbst, daß vorläufig und wahrscheinlich für immer eine exakte Ermittelung solcher Kurven des Gefühlsverlaufs nicht möglich ist. Wohl aber werden sich wenigstens die allgemeinen Verlaufsformen, namentlich insoweit es sich um die Beteiligung der verschiedenen Gefühlselemente an gewissen zusammengesetzten seelischen Vorgängen, wie Affekten, Willensprozessen, handelt, annähernd durch sorgfältige Beobachtung feststellen lassen.

Bei dieser Anwendung der Resultate der Gefühlsanalyse auf die Untersuchung der einzelnen Gefühlsvorgänge ist nun aber schließlich außer dem Gesichtspunkt der fortwährenden zeitlichen Veränderungen der Elemente noch ein weiteres Moment zu beachten. Es besteht darin, daß es sich hier immer nur um Grundformen der Gefühle, nicht um die ganze konkrete Mannigfaltigkeit der Gefühle selbst handelt. Diese variiert, wenn wir hier der aufmerksamen Selbstbeobachtung vertrauen dürfen. ebensowohl mit den Empfindungs- und Vorstellungsinhalten des Bewußtseins, zu denen in jedem einzelnen Fall das konkrete Gefühl nähere Beziehungen zeigt, wie mit der gesamten Bewußtseinslage. Denn vermöge der letzteren kann ein und derselbe, nach seiner Vorstellungsseite konstant bleibende Eindruck in den ihn begleitenden Gefühlsreaktionen mannigfach abweichen. Wenn wir z. B. einen aromatischen Geruch, eine Farbe von tiefer Sättigung, einen reinen musikalischen Klang, endlich gewisse Farbenkombinationen und musikalische Zusammenklänge verschiedener Art samt und sonders lusterregende Eindrücke nennen, so scheinen dabei doch diese Lustgefühle im einzelnen nicht weniger verschieden nuanciert zu sein, wie etwa die verschiedenen Farbenempfindungen, die wir unter dem Namen Rot zusammenfassen; ja sie sind wahrscheinlich in dem Maße auch nach ihrer Gefühlsseite mannigfaltiger, als ja schon die Empfindungsinhalte, auf die wir diese Gefühle zurückbeziehen, so außerordentlich verschieden sind. Daß wir hier leichter geneigt sind, diese Mannigfaltigkeit der einzelnen Erscheinungen zu übersehen, mag aber teils in der engen Verbindung, in die wir die Gefühle mit den objektiven Bewußtseinsinhalten bringen, teils auch darin seinen Grund haben, daß uns bei diesen subjektiven Seelenzuständen Bezeichnungen der Sprache, die einigermaßen mit den Unterschieden unserer unmittelbaren Erlebnisse gleichen Schritt hielten, im Stiche lassen. Kein praktisches Interesse hat eben in diesem Falle die Ausbildung einer größeren Anzahl unterscheidender Ausdrücke unterstützt. Ist es doch für diese ungünstige Stellung

der subjektiven Bewußtseinselemente zu unserer psychologischen Beobachtung charakteristisch genug, daß in WOLFFs Systematik der Seelenvermögen die Gefühle überhaupt noch nicht vorkamen, sondern nur unter dem Allgemeinbegriff des »Begehrens« ein latentes Dasein führten. Als aber endlich die deskriptive Psychologie des 18. Jahrhunderts der Lust und Unlust ihre fundamentale Bedeutung angewiesen hatte, so schien es, als sei damit vorläufig dem Bedürfnis der Psychologen Genüge getan. Auch hier kann eben erst die sorgfältige Analyse der unmittelbaren Erfahrungsinhalte, wie sie an der Hand des vergleichenden Verfahrens der Eindrucksmethode geübt werden muß, bis dahin übersehene Unterschiede mehr und mehr sicherstellen. Angesichts der so ausgeführten Analyse scheint es mir aber in überwiegendem Maße wahrscheinlich, daß die sechs angeführten Grundformen nicht Einzelgefühle, sondern eben nur Grundformen sind, von denen jede einzelne eine sehr große Mannigfaltigkeit im ganzen verwandter, aber dabei doch von Fall zu Fall nuancierter Einzelgefühle unter sich begreift.

b. Objektive Gefühlssymptome.

Das deutlichste Bild von den Innervationsveränderungen, welche die einfachen Gefühle im Gebiet der Atmung und Blutbewegung begleiten, bietet die Kombination der plethysmographischen mit der respiratorischen Kurve, da jene bei zweckmäßiger Einrichtung des Versuchs neben den Eigenwellen der arteriellen Gefäße in vergrößerter Form zugleich ein ziemlich treues Bild des Gangs der den Herzbewegungen korrespondierenden arteriellen Blutdruckkurve liefert. Zur Kontrolle und Vervollständigung dieses Bildes ist es dann aber allerdings wünschenswert, wo es erforderlich scheint, die sphygmographische Kurve zur Ergänzung herbeizuziehen.

Durchmustert man nun die auf solche Weise durch planmäßige Kombination der Ein- und Ausdrucksmethode gewonnenen Kurvenbilder, so drängt sich zunächst ein merkwürdiger Gegensatz auf, in den in gewissem Sinn die Symptome hier mit den Gesichtspunkten treten, denen wir bei der Schilderung der Ergebnisse der Eindrucksmethode gefolgt sind. Schien es bei dieser geboten, die Entwickelung der psychologischen Gefühlslehre gewissermaßen zu rekapitulieren, indem wir von den längst anerkannten Lust-Unlustformen aus- und dann erst zu den später unterschiedenen und noch mannigfach umstrittenen andern Gefühlsformen übergingen, so drängt sich, wenn wir die Ausdrucksmethode in ihren graphischen Ergebnissen ins Auge fassen, die Überzeugung auf, daß die Lust-Unlustreaktionen selten nur rein, losgelöst von andern Gefühlswirkungen

auftreten, die das Bild in der mannigfaltigsten Weise trüben können. Ähnlich verhalten sich, wie die objektiven Symptome und die subjektive Beobachtung schließen lassen, Erregung und Beruhigung. Am häufigsten scheinen dagegen Spannung und Lösung in ihrer reinen, unvermischten Gestalt zur Beobachtung zu kommen. Zugleich scheinen aber gerade diese Gefühlsformen die ständigsten Begleiter unserer sonstigen Bewußtseinszustände zu sein. Aus diesem Grunde ist es wohl zweckmäßig, hier von dieser letzten Gefühlsdimension auszugehen[1].

Das einfachste Mittel, Spannungsgefühle zu erzeugen, besteht in der Einwirkung von Reizen, welche die Aufmerksamkeit in Tätigkeit setzen, ohne eine andere merkliche Gefühlswirkung auszuüben. Ein ähnlich geeignetes Mittel ist die Auslösung einer nicht anstrengenden und eben darum wieder keine andern Gefühle in Bewegung setzenden intellektuellen Funktion: so z. B. das Zusammenzählen von Punkten, die Lösung einfachster Rechenaufgaben u. dergl. mehr. Da Einwirkungen und Vorgänge dieser Art außerordentlich häufig unter den normalen Bedingungen unseres Seelenlebens vorkommen, so begreift es sich, daß es leicht ist. sie künstlich hervorzurufen. Man begreift aber auch, daß sie von psychologischen Beobachtern, selbst von solchen, die sich speziell mit der Symptomatik der Gefühle beschäftigen, oft übersehen worden sind, weil man sie eben von »zufälligen«, d. h. auf bestimmte Ursachen überhaupt nicht zurückzuführenden Schwankungen nicht unterschied. Als die regelmäßigen Symptome einer solchen Spannung beobachtet man nun von seiten der Respiration eine Verflachung der Atemzüge, zuweilen, wenn die Spannung höhere Grade erreicht, während einer kurzen Zeit Stillstand derselben. Diese Veränderungen zeigen sich hauptsächlich an der thorakalen Atmung, während die abdominale weniger verändert, manchmal sogar verstärkt ist (Fig. 232). Einen völlig übereinstimmenden Verlauf zeigen Puls- und Atemkurve in Fig. 233, wo der Zustand der Spannung auf einem ganz andern Wege, nämlich durch Berührung der Stirnhaut durch einen sehr schwachen, die Erwartung spannenden Tastreiz erzeugt wurde (*b*—*c*). In beiden Fällen wird aber dieser Zustand von einer verschiedenen Nachwirkung abgelöst. In Fig. 232 scheint diese dem einfachen

[1] Die folgende Darstellung hauptsächlich nach den Versuchen von WERNER GENT, Phil. Stud. Bd. 18, 1903, S. 715 ff., MEUMANN und ZONEFF, Philos. Stud. Bd. 18, 1903, S. 1 ff., MEUMANN und KELCHNER, Archiv für die ges. Psychol. Bd. 5, 1905, S. 1 ff., ALECHSIEFF, Psychol. Stud. Bd. 3, 1907, S. 156 ff., PAUL SALOW, ebend. Bd. 4, S. 1 ff. Einzelne dieser Arbeiten, besonders die beiden letztgenannten, reichen zwar bereits in das später zu behandelnde Gebiet der Affekte hinüber (vgl. Bd. 3, Kap. XVI). Mit Rücksicht auf die auch aus Respirations- und Pulssymptomen zu erschließende Zusammensetzung der Affekte aus Gefühlen sind sie aber schon hier von Bedeutung. Vgl. darüber SALOW a. a. O. S. 68 ff.

Symptom der Lösung zu entsprechen, wie es auch sonst als Folge vorangegangener mäßiger Spannung betrachtet wird: man bemerkt etwas frequentere und stärkere Pulse neben deutlicher Beschleunigung und Ver-

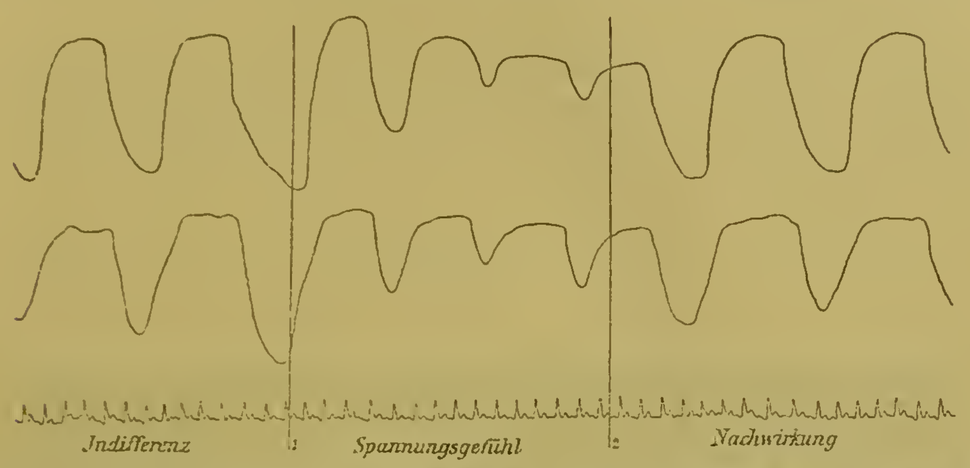


Fig. 232. Respiratorische und Pulsschwankungen unter dem Einfluß der Spannung der Aufmerksamkeit (*1—2* Zählen von Punkten), nach MEUMANN und ZONEFF. Obere Atemkurve thorakal, untere abdominal.

stärkung der Atmungen. Ähnlich tritt in Fig. 233 neben einer Verstärkung der in ihrer Frequenz annähernd gleich bleibenden Pulse eine wachsende Vertiefung der Atmungen hervor. Dem entsprach in dem letzteren Fall ein unmittelbarer Übergang des vorangegangenen Erwartungszustandes in eine durch den fortdauernden Hautreiz plötzlich herein-

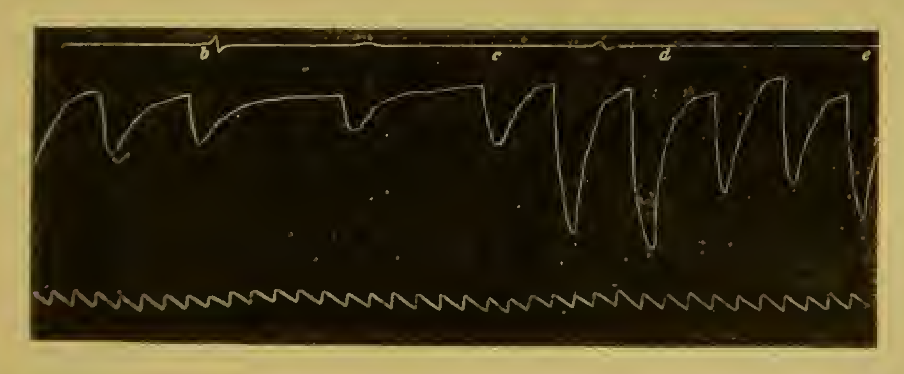


Fig. 233. Puls- und Atemkurven bei gespannter Erwartung mit nachfolgender Erregung, nach ALECHSIEFF. (Thorakale Atmung.) *a—b* vorausgehender Indifferenzzustand. *b* Beginn eines schwachen Tastreizes auf die Stirn. *c* Übergang in wachsende Erregung.

brechende Erregung (*c—e*). Von seiten des Gefäßsystems pflegt in den entsprechenden Fällen ein Sinken der Volumkurve die Abnahme der Blutdruckpulse und die Zunahme ihrer Dauer zu begleiten. Die Hemmung der Respiration scheint in allen diesen Fällen eine den Pulssymptomen

zwar koordinierte, nicht aber sie hervorrufende Erscheinung zu sein, da diese auch dann sehr ausgeprägt hervortreten können, wo die respiratorische Kurve unverändert bleibt. Je nach Umständen kann übrigens das Spannungsgefühl samt diesen seinen stets wiederkehrenden Symptomen ein lang dauerndes Phänomen sein. Werden doch einzelne Beobachter schon durch die Versuchseinrichtungen so in Spannung versetzt, daß die subjektiven und objektiven Symptome dieses Zustandes während der ganzen Versuchsdauer anhalten, wodurch dann natürlich die Wirkungen anderweitiger Gefühlsreize getrübt werden.

Im Gegensatze zur Spannung steht, wie als subjektives Gefühl, so in ihren objektiven Symptomen die Lösung. Sie setzt natürlich eine vorangehende Spannung voraus, so daß ihre Erscheinungen nie ohne diese

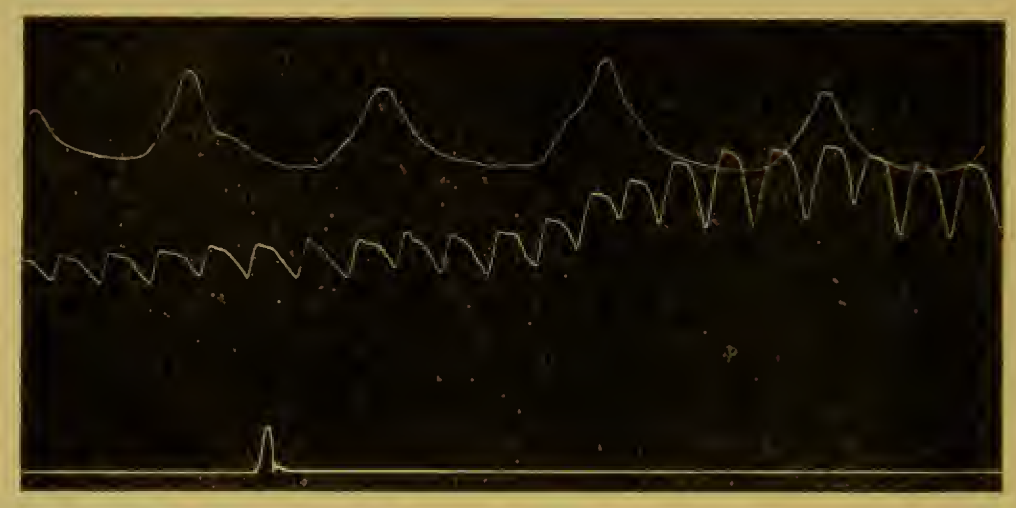


Fig. 234. Atem- und Volumpulskurve bei Spannung und Lösung: Rechenaufgabe (93 . 78), beim Beginn der Kurven links die Rechnung im Gang, bei *b* die Aufgabe gelöst, nach Gent.

beobachtet werden. Anderseits können aber länger wie kürzer dauernde Spannungen entweder allmählich verschwinden, oder plötzlich, wie in Fig. 233, in andere Gefühle, namentlich solche der Erregung oder auch der Unlust übergehen. Die schönsten Beispiele eines reinen Lösungsgefühls mit den begleitenden objektiven Erscheinungen bieten Versuche mit intellektuellen Aufgaben einfachster Art, z. B. einfache Additions- oder Multiplikationsexempel. Nach der Stellung der Aufgabe treten dann regelmäßig nach sehr kurzer Zeit die oben geschilderten Spannungssymptome ein. In dem Moment aber, wo die Aufgabe gelöst ist, manchmal auch schon wenn sich der Beobachter der Lösung nähert, kommt das Lösungsgefühl zum Vorschein: die Atembewegungen werden verstärkt, zuweilen etwas unregelmäßiger, ohne eine konstante Veränderung ihrer Frequenz zu bieten; die Volumkurve dagegen steigt sehr erheblich, und

die einzelnen Pulse werden stärker und schneller. Die Fig. 234 bietet ein augenfälliges Beispiel dieses Verlaufs. Die Aufgabe, die dem im Kopfrechnen geübten Beobachter gestellt war, bestand in der Multiplikation 93 . 78. Da wo die Kurve links beginnt, ist die Rechnung bereits im Gang: die Pulse zeigen also die charakteristischen Eigenschaften der Spannungspulse. Im Momente *b* ist die Lösung der Aufgabe vollendet, und sofort steigen und beschleunigen sich die Pulse erheblich. Übrigens ist die Lösungskurve in der Regel eine vorübergehende Erscheinung, und sie geht meist allmählich, nicht plötzlich in die indifferente Lage über.

Schwieriger ist es, die Symptome der Erregung und Beruhigung für sich allein, unvermischt mit andern Erscheinungen zu beobachten. Namentlich findet man häufig, daß sich Spannungs- oder auch Lösungs-



Fig. 235. Atem- und Volumpulskurve: Erregung durch Suggestion, nach Gent.

mit Erregungssymptomen kombinieren. So z. B. wenn ein Beobachter bei der Lösung einer einfachen intellektuellen Aufgabe in Aufregung gerät, wo dann diese meist noch in das Lösungsstadium hinein andauert. In diesem Fall sieht man schon die Spannungspulse sich verstärken, und die Lösungspulse gestalten sich darin abweichend, daß namentlich die Pulsdauer größer wird, als sie bei reinen Lösungswirkungen zu sein pflegt. Als konstanter Symptomenkomplex der Erregung selbst erscheint Verstärkung von Puls und Atmung (Fig. 235). Sie kann sich bisweilen zugleich mit einer Beschleunigung beider verbinden. Es ist aber möglich, daß dann Kontraste zu den vorangegangenen Zuständen oder Verbindungen mit andern Gefühlswirkungen im Spiele sind: so z. B. in Fig. 233, wo teils der Kontrast zur vorangegangenen Spannung, teils wahrscheinlich die Verbindung mit den Lösungssymptomen die Atmungen (nicht die Pulse) beschleunigt erscheinen läßt. Noch leichter treten solche

Kombinationen wohl bei der Beruhigung ein. Da sie stets eine vorangegangene Erregung voraussetzt, so reichen namentlich leicht die Erregungssymptome in abnehmender Stärke offenbar noch in dieses Stadium hinüber. Außerdem können sich aber auch Lust- und Unlustzustände samt den ihnen entsprechenden objektiven Erscheinungen mit der Beruhigung verbinden. Am leichtesten treten sie nach schwachen vorangegangenen Erregungen hervor. Ein Beispiel solcher Art zeigt die Fig. 236. Vorangeht, bis an *b* heranreichend, eine schwächere Erregung: zwischen *b* und *c* liegt nach der gleichzeitigen subjektiven Beobachtung ein Zustand allmählicher Beruhigung, der von *c* an in völlige Beruhigung übergegangen ist, die von *d* an erneuter Unruhe Platz macht: man erkennt deutlich eine Verflachung der Atembewegungen bei annähernd unveränderter Frequenz, begleitet von geringer Verlangsamung bei gleichbleibender Stärke

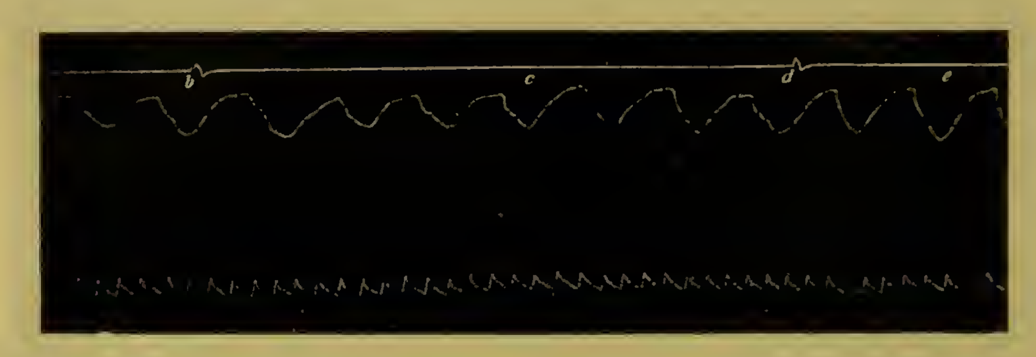


Fig. 236. Beruhigung (*b*—*c*) nach vorangegangener Erregung und mit folgendem Wiederanstieg der Erregung (*d*—*e*), nach ALECHSIEFF.

der Pulse, Symptome, in denen sich die der Erregung wiederum in ihr Gegenteil umkehren. Sehr leicht verbindet sich nun aber gerade die Beruhigung besonders bei vorangegangener lebhafterer Erregung mit andern Gefühlen. Eine charakteristische Verbindung solcher Art ist vornehmlich die der »Depression«, in der sich subjektiv wie objektiv Beruhigung und Unlust kombinieren. Die Fig. 237 zeigt das Resultat einer solchen Verbindung: die bedeutende Abnahme der Pulskurven kommt hier wohl auf Rechnung der Unlust. Dagegen fehlt die bei dieser vorhandene starke Beschleunigung der Herzbewegungen, was vermutlich der gleichzeitigen retardierenden Wirkung der Beruhigung zuzuschreiben ist. (Vgl. Fig. 236 und 237.) Solche zur Depression gesteigerte, mit Unlust gepaarte Beruhigung läßt sich, ebenso wie die Erregung mit ihren Lust- und Unlustverbindungen, besonders leicht auf suggestivem Wege, durch die willkürliche Erweckung einer geeigneten Gemütsstimmung erhalten, oft ohne alle Suggestion begleitender Vorstellungen, durch die

bloße Anweisung, tätig, erregt oder beunruhigt, niedergeschlagen zu sein[1]. Weitere charakteristische, von den Unlustsymptomen wesentlich verschiedene Erscheinungen zeigt bei solchen Verbindungen auch die Form der Atemkurve: sie ist, wie die Versuche von MEUMANN und KELCHNER sowie von ALECHSIEFF übereinstimmend zeigen, flach und oft unregelmäßig, häufig zweigipfelig, ein gewöhnliches Symptom dyspnoischer Zustände.

Die Gefühle der Lust und Unlust sind verhältnismäßig am reinsten, nur zuweilen modifiziert durch die Beimengung erregender oder deprimierender Gefühle und durch das beinahe jeden Sinnesreiz begleitende Spannungsgefühl, bei den chemischen Sinnen, Geruch und Geschmack, in ihren einander parallel gehenden subjektiven und objektiven Symptomen zu be-



Fig. 237. Atem- und Volumpulskurve: Depression durch Suggestion, nach GENT.

obachten. Dabei sind die Gerüche die geeigneteren für die Lust-, die Geschmäcke für die Unlustwirkung. Doch sind auch Farbeneindrücke von vorwiegendem Lust-Unlustcharakter oder konsonante und dissonante Zusammenklänge verwendbar. Die Fig. 238 zeigt zunächst die höchst charakteristischen Respirationssymptome. Bei *a* wirkte eine dem Beobachter wohlgefällige, hierauf sogleich bei *b* eine ihm unangenehme Farbe ein. Bei dem Lustreiz wird die Atmung flacher, besonders in ihren thorakalen Teilen; bei dem Unlustreiz wird sie für einen Augenblick in Exspirationsstellung gehemmt, dann erfolgt eine starke Vertiefung und Verlangsamung, die wiederum mehr die thorakalen als die abdominalen Be-

[1] Dafür, daß sich der der Erregung entgegengesetzte Zustand, so lange er nicht in die unlustbetonten stärkeren Grade der Depression übergeht, zunächst bloß in Abnahme der Pulshöhe verrät, sprechen besonders auch einige sphygmographische Kurven von M. BRAHN. Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 181. Vgl. z. B. Taf. VIII, Kurve VIII und IX (Chloroform, Moschus).

wegungen trifft. In dem Augenblick, wo der Lustreiz bei *c* zum zweiten Mal einwirkt, kehren sich die Erscheinungen wieder um. Nicht minder ausgeprägt sind die vasomotorischen Symptome. Die Fig. 239 ist eine

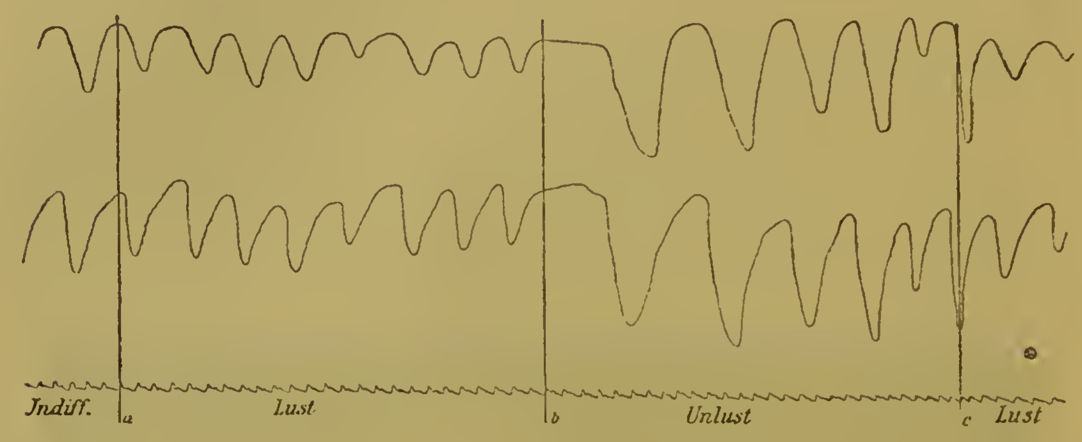


Fig. 238. Atmungs- und Pulskurven bei Lust und Unlust, nach MEUMANN und ZONEFF: *a* Lustreiz (rote Farbe, Fuchsin), *b* Unlustreiz (grau-violett, Nigrosin), *c* Rückkehr zum Lustreiz. Obere Atmungskurve thorakal, untere abdominal.

Lustkurve, die durch die Einwirkung von Veilchenduft gewonnen wurde: der Reiz beginnt bei *a*. Das Volum steigt etwas an, besonders werden die Einzelpulse höher, dabei jedoch, im Gegensatz zu der bei der Lösung beobachteten Beschleunigung, sehr merklich verlangsamt. Zugleich ist

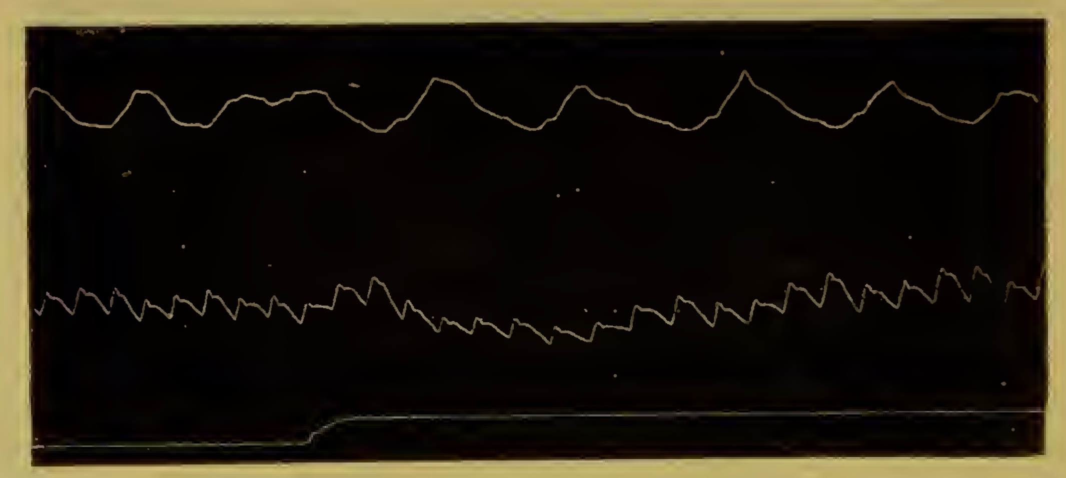


Fig. 239. Atem- und Volumpulskurve bei Lustreizung (Veilchenduft): *a* Beginn der Einwirkung, nach GENT.

die Wirkung eine ziemlich rasch vorübergehende, obgleich der Reiz fortdauernd einwirkt, wie man an dem allmählichen Absinken der Pulse sieht. Die Atmung zeigt auch hier eine geringe Verflachung und Beschleunigung. Ganz entgegengesetzt sind wieder die Symptome der Unlust

(Fig. 240). Der bei *b* einwirkende Reiz war eine unangenehm bitter schmeckende Chininlösung. Zunächst wird fast momentan mit der Einwirkung die Atmung während einer kurzen Zeit sistiert; zugleich steigt, vermutlich infolge der Konkurrenz einer zunächst sich geltend machenden starken Erregung, die Volumkurve sowie die Höhe der Pulse, dann aber tritt eine große und lange andauernde Senkung mit bedeutender Erniedrigung und Beschleunigung der Herzbewegungen ein.

Diese Ergebnisse zeigen klar, daß die physischen Symptome der einfachen Gefühle in dem Sinne den Eigenschaften der Gefühle selbst parallel gehen, als bestimmte Gefühlsgegensätze sich auch durch entgegengesetzte Ausdruckserscheinungen verraten, und daß im allgemeinen, sofern es nur gelingt, die einzelnen Gefühle in ihrer reinen,

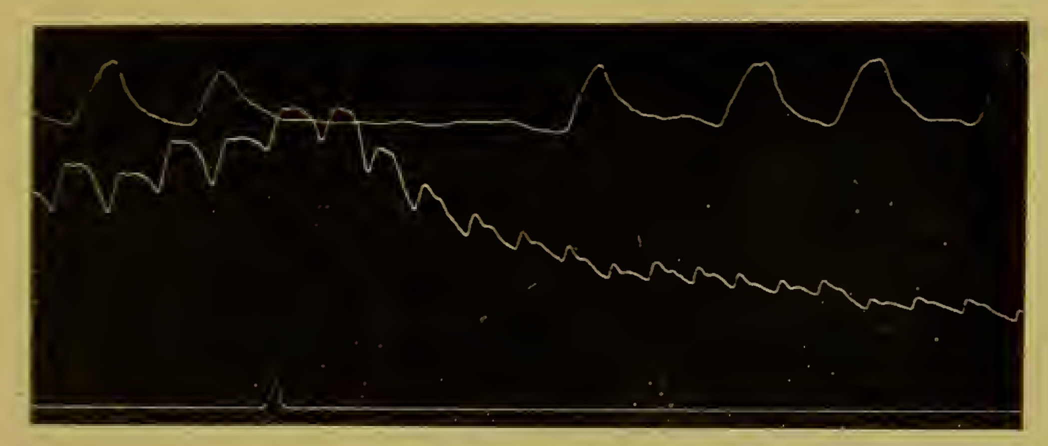
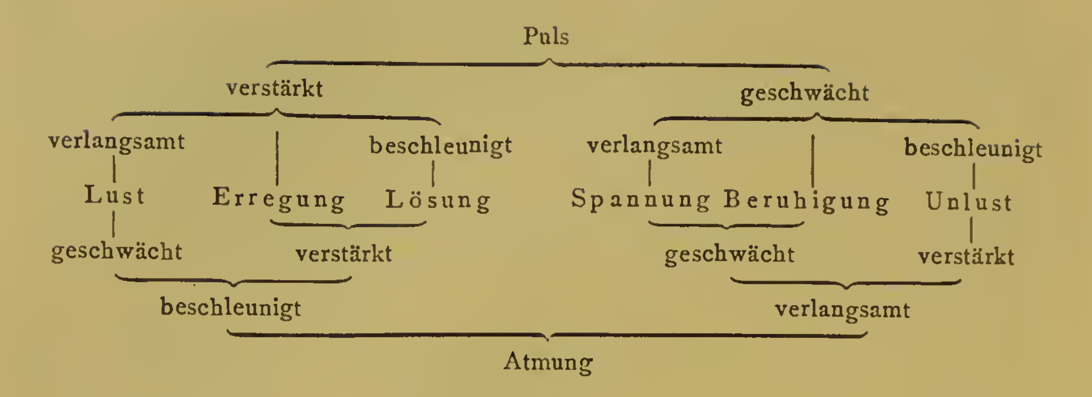


Fig. 240. Atem- und Volumpulskurve bei Unlustreizung (stark bitterer Chiningeschmack): *b* Beginn des Reizes, nach GENT.

unvermischten Form zu erhalten, jede der oben auf Grund der subjektiven Analyse unterschiedenen sechs Grundformen auch in der eigentümlichen Kombination der Erscheinungen ihr charakteristisches Gepräge besitzt. Letzteres erhellt besonders, wenn wir diejenigen Ausdruckserscheinungen ins Auge fassen, die eine doppelseitige Veränderlichkeit besitzen: Puls und Atmung. Ihnen gegenüber sind die langsameren Schwankungen des Blutvolums nur nach den zwei Richtungen der Zu- und Abnahme veränderlich, in beiden Beziehungen gehen sie aber durchweg den Pulshöhen parallel. Das Verhalten von Puls und Atmung läßt sich so für die sechs reinen Gefühlsformen in das folgende Schema bringen, das übrigens namentlich bei den Spannungs- und Erregungssymptomen wegen der häufigen Verbindung mit andern Gefühlen noch der weiteren Prüfung bedarf[1]:

[1] Das folgende Schema weicht nur in einigen, die Atmung betreffenden Punkten auf Grund der neueren Versuche von ALECHSIEFF u. a. von dem der vorigen Auflage ab.



Von diesem Schema scheint am häufigsten die Atmung kleine Abweichungen zu bieten, vielleicht weil sie das feinste Reagens auf rasch vorübergehende Modifikationen der Gefühle ist. Zugleich sieht man, daß, abgesehen von den jedesmal auch in ihr am meisten unterschiedenen gegensätzlichen Gefühlen, unter den übrigen einzelne einander näher stehen als andere. So sind die mit Atmungs- und Pulsverstärkung auf der einen und die mit der Hemmung dieser Funktionen reagierenden Gefühle auf der andern Seite einander offenbar auch in ihrem subjektiven Verhalten näher verwandt. So verbinden sich wohl Lust und Erregung oder Erregung und Lösung leichter miteinander als etwa Lust und Beruhigung, während sich letztere wiederum in ihren gesteigerten Graden leicht mit Unlust verbindet. Gerade bei diesen wegen der Übereinstimmung einzelner Eigenschaften verwandten Symptomen kann aber die nähere Betrachtung der Atmungs- und der sphygmographischen Kurve wohl noch feinere diagnostische Merkmale liefern. So bieten zuweilen die thorakale und die abdominale Atmung bemerkenswerte Unterschiede (vgl. z. B. Fig. 240); auch die Unregelmäßigkeit oder Sistierung der Atmung ist für gewisse Gefühle, wie Spannung, Unlust, dann aber überhaupt für alle sehr starken Gefühle charakteristisch. In den von BRAHN gewonnenen Pulskurven zeigt der Puls bei der Spannung nicht selten eine deutliche Hinneigung zu sekundären Elevationen (dem sogenannten Pulsus dicrotus), wobei die Täler der einzelnen Pulswellen ganz verschwinden können, während sich das entgegengesetzte Bild, die scharfe Abgrenzung der ansteigenden Wellenberge von den verhältnismäßig lang dauernden Pulspausen, besonders augenfällig als Symptom der Lustkurve darbietet[1]. Am meisten

[1] Auch die Pulskurven bei MEUMANN und ZONEFF scheinen damit im ganzen zu stimmen. Vgl. Philos. Stud. Bd. 18, 1901, Taf. I, Kurve 9. BRAHN, ebend. Taf. VIII, Kurve 10, womit zu vgl. die Lustkurve 2, Taf. VII. Den in dem obigen Schema angegebenen Veränderungen der Atmung bei Lust und Unlust entsprechen auch die Resultate von STÖRRING (Arch. für die ges. Psychologie, Bd. 6, S. 326 ff.) hinsichtlich der Unlustsymptome. Bei der länger andauernden, von ihm so genannten Stimmungslust verzeichnet er aber ebenfalls deutliche Verstärkung neben annähernd unveränderter Geschwindigkeit, indes bei

weichen die Beobachter über die Symptome der Spannungsgefühle voneinander ab, indem manche, wie LEHMANN und GENT, Verstärkung der Atmung, andere, wie MEUMANN und ALECHSIEFF, Abnahme oder unveränderte Höhe angeben. Aber es ist nicht unwahrscheinlich, daß hier die häufige Verbindung mit Erregungsgefühlen eine Rolle spielt. In der Tat läßt sich wohl das so viele Zustände des Bewußtseins begleitende »Tätigkeitsgefühl« als eine Verbindung von Erregung und Spannung und in manchen Fällen vielleicht auch als eine solche von Erregung und Lösung betrachten. Weitere Folgen solcher Verbindung werden wir bei den Affekten (Kap. XVI) kennen lernen.

Die hier bei möglichster Isolierung der Gefühle geschilderten Symptome können sich nun natürlich erheblich verwickeln, wenn sich mehrere Gefühlswirkungen kreuzen. Namentlich kann es dabei geschehen, daß entgegengesetzte Symptome vollständig dadurch ausgeglichen werden, daß eine außerhalb dieser Gegensätze liegende Wirkung in beiden Fällen in übereinstimmender Weise die Symptome überdeckt. So fanden MEUMANN und ZONEFF neben starken Spannungsgefühlen, wie sie durch energische Anspannung der Aufmerksamkeit hervorgebracht werden, bei Lust eine Beschleunigung, bei Unlust eine Verlangsamung des Pulses, so daß die sonst so charakteristischen Symptome dieser Gefühle vollständig verschwanden[1]. Auf eine ähnliche, sehr häufige Überdeckung der Unlust- und Beruhigungssymptome wurde oben (Fig. 237) schon hingewiesen. Man darf wohl in dieser Ausgleichung der Unterschiede ein psychophysisches Äquivalent der subjektiven Tatsache sehen, daß Gefühle durch qualitativ verschiedene bald kompensiert, bald vollständig verdrängt werden. Auch der ermäßigende Einfluß, den die Ablenkung der Aufmerksamkeit besonders auf die Unlustgefühle ausübt, gehört hierher. Denn diese Erscheinung tritt nunmehr zunächst unter den Gesichtspunkt der Gefühlskompensation. Anders gestaltet sich der Einfluß der Aufmerksamkeit, wenn sich diese selbst auf das Gefühl richtet, wo nun umgekehrt eine deutliche Verstärkung der Gefühle wie ihrer objektiven Symptome hervortritt. Auch diese objektiven Symptome entsprechen aber den bekannten subjektiven Erfahrungen über die Verstärkung namentlich der Unlustgefühle durch einseitige Versenkung in dieselben.

Die Erscheinungen, die auf solche Weise durch die Wechselwirkungen verschiedener Gefühle entstehen, und die sich hiernach je nach Umständen

---

ALECHSIEFF, ebenso wie bei MEUMANN und ZONEFF besonders die verminderte Tiefe der Atmung auffällt. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß an dieser Differenz der Resultate die wohl niemals ganz zu vermeidende Erregung und Spannung die Schuld mit trägt.

[1] MEUMANN und ZONEFF, Philos. Stud. Bd. 18, S. 63.

als Kompensationen oder Verstärkungen geltend machen können, erfahren nun noch weitere Komplikationen, sobald durch die Steigerung der Gefühle die Atmung in erhöhte Mitleidenschaft gezogen wird. In diesem Falle kann die Atembewegung von sich aus, sei es infolge der oben (S. 281) erwähnten rein mechanischen Momente, sei es auch vermöge der Wirkungen, die sie in dyspnoischen, leicht sich mit starken Gefühlserregungen verbindenden Zuständen auf die vasomotorischen Zentren ausübt, sehr energisch die Atmungs- und Pulssymptome beeinflussen: so in Fig. 241. Es können dann Erscheinungen entstehen, die den TRAUBE-HERINGschen oder, wenn die Volumkurven hinter den Atemkurven zurückbleiben, den MAYERschen Wellen entsprechen (S. 280). Die Kurve Fig. 241 ist in einem Zustande heftiger, zugleich mit Unlustgefühlen verbundener Aufregung aufgenommen, also im wesentlichen als ein Symptomenkomplex aus Unlust und Erregung aufzufassen, wobei sich von beiden Komponenten bald mehr die eine, bald mehr die andere vorgedrängt haben mag. Die Atmung ist sehr beschleunigt, aber oberflächlich und gleichförmig. Der Puls dagegen ist sehr unregelmäßig und die Volumkurve steigt und sinkt mit der Atmung derart, daß sie sich etwas nach Beginn der (dem Berg der Atemkurve entsprechenden) Exspiration rasch zu ihrem Maximum erhebt, um dann allmählich zu sinken und kurz nach dem höchsten Stande der Inspiration ihren tiefsten Stand zu erreichen. Es überwiegen also offenbar die den Blutdruck vermindernden Momente bei der Einatmung, die vermehrenden bei der Ausatmung, ein Resultat, das gewöhnlich die Atembeschleunigung begleitet. solange die Inspiration nicht ungewöhnlich tief wird (siehe oben S. 281). Da diese Veränderung der Atmung fast regelmäßig die eigentlichen Affekte, namentlich die von erregendem Charakter kennzeichnet, so läßt sich demnach ein Bild von Puls und Atmung, wie das in Fig. 241 gezeichnete, bereits als ein ausgesprochenes Affektsymptom betrachten. Mit diesem Übergang in den Affekt sind aber, neben der so hervortretenden Beeinflussung der Blutbewegung durch die Atmung, noch weitere Komplikationen verbunden, die über das hier behandelte Gebiet der einfachen Gefühle hinausreichen, und auf die wir in Kap. XVI zurückkommen werden.

Unsicherer als die respiratorischen und vasomotorischen sind die in den Arbeitsleistungen der äußeren Skelettmuskeln zutage tretenden Gefühlssymptome. Sie können ohnehin nur bei länger dauernden Gefühlszuständen in Betracht kommen, und es handelt sich dabei hauptsächlich um die Frage, ob ein bestimmter Zustand günstig oder ungünstig auf die Muskelarbeit im ganzen oder auf einzelne spezielle Formen derselben wirkt. Der zuerst von CH. FÉRÉ auf Grund von Dynamometerversuchen

ausgesprochene und überdies ja mit geläufigen Erfahrungen übereinstimmende Satz, daß Lustzustände die Arbeitsleistung vergrößern, Unlustzustände sie vermindern, wird im allgemeinen auch durch die Versuche am Ergographen bestätigt[1]. Die letzteren lehren außerdem, daß besonders auch Spannungszustände den Muskeltonus vergrößern, und daß sich sowohl Dauerkontraktionen wie aufeinander folgende Gewichtshebungen in solchen Zuständen längere Zeit auf gleicher Höhe halten, während deprimierende Gefühle in entgegengesetztem Sinne wirken[2]. Dieser Gegensatz der tonischen und atonischen Zustände scheint aber weiterhin, wie Versuche von G. STÖRRING lehren, nicht alle Muskelgruppen gleichmäßig zu treffen, indem hauptsächlich die Flexoren des Armes die Tendenz zu ausgiebigeren Bewegungen bei Lustgefühlen und zu vermin-

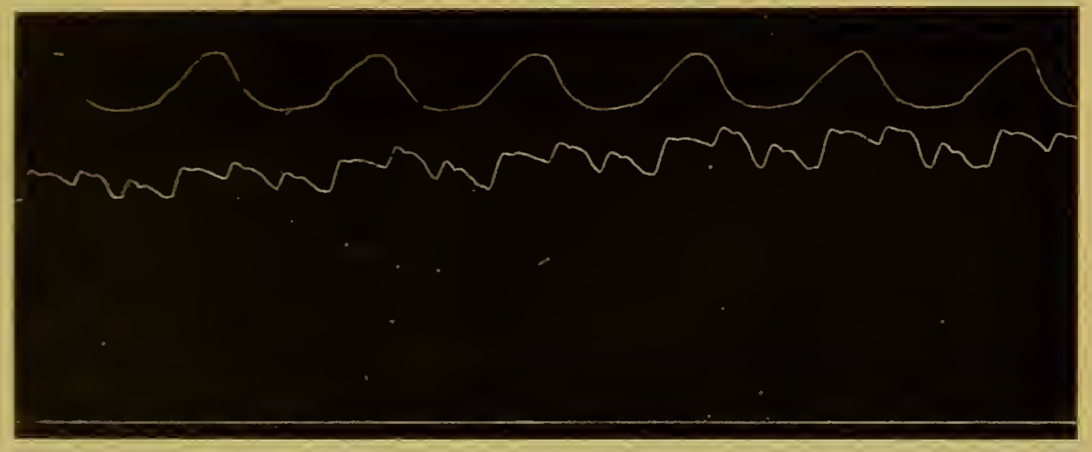


Fig. 241. Einwirkung der Atembewegungen auf den Volumpuls in einem Zustand sehr starker Erregung, nach GENT. (Andeutung TRAUBE-HERINGscher Wellen.)

derter Leistung bei Unlustgefühlen zeigten, während bei der Extension diese Unterschiede nicht zu beobachten waren[3].

Das Verdienst, als einer der ersten nach einer exakten symptomatischen Unterscheidung der Gefühle und Affekte durch die begleitenden Bewegungen gesucht zu haben, gebührt CHARLES FÉRÉ[4]. Er bediente sich zu diesem

---

[1] CH. FÉRÉ, Sensation et mouvement. 1887.

[2] Nach Mitteilungen von E. MEUMANN.

[3] STÖRRING, Philos. Stud. Bd. 12, 1896, S. 494. Dies Resultat steht zugleich im Widerspruch mit den Angaben MÜNSTERBERGS, nach welchem Lustgefühle mit verstärkter Tätigkeit der Extensoren, Unlustgefühle mit solcher der Flexoren verbunden sein sollten, worauf MÜNSTERBERG die Theorie gründete, beide Gefühlsformen seien mit diesen verschiedenen Muskelempfindungen identisch. (MÜNSTERBERG, Beiträge zur exper. Psychologie. Heft 4, 1892, S. 219 ff.) Die Versuchsanordnung MÜNSTERBERGS war aber überhaupt nicht geeignet, zuverlässige Resultate zu liefern. (Vgl. darüber STÖRRING, a. a. O. S. 488 f.)

[4] CH. FÉRÉ, Sensation et mouvement. Revue philos. t. 20, 1885, p. 337. t. 24, 1887, p. 560. La pathologie des émotions. 1892. Dazu die neueren Arbeiten: Soc. de Biologie, 1900, p. 813, 1083. Année psychologique, t. 7, 1900, p. 82.

Zweck teils der Bewegungsreaktionen willkürlicher Muskeln, teils auch der Atmungs- und Pulsbewegungen. Indem er Lust und Erregung, Unlust und Depression als zusammenfallende Zustände betrachtete, gelangte er zu dem allgemeinen Resultat, daß die ersteren verstärkend, die letzteren schwächend auf die körperlichen Funktionen einwirkten. Zunächst bestätigte und erweiterte dieses Resultat LEHMANN[1], der zugleich die zeitlichen Verhältnisse der Gefühlserregungen und ihrer physischen Symptome genauer verfolgte und dabei feststellte, daß diese durchweg später als jene eintreten. Zu demselben Ergebnis gelangten BINET und COURTIER[2], die unter den verschiedensten Bedingungen teils während der Erregung von Affekten, teils bei intellektuellen Vorgängen, besonders die vasomotorischen Erscheinungen untersuchten, ohne dabei im übrigen sichere Aufschlüsse zu gewinnen, was wohl zumeist in der Komplikation der bei ihren Versuchen obwaltenden Bedingungen sowie in der ungeeigneten Beschaffenheit der benutzten plethysmographischen Hilfsmittel begründet sein mochte. Gleichzeitig verfolgte MENTZ[3], unter Beschränkung auf akustische Reize, die Puls- und Atmungssymptome, wobei er neben den Gefühlen und Affekten namentlich auch den Einfluß der Aufmerksamkeit sowie den der »gefühlsfreien« Empfindungen zu ermitteln suchte. Ein reiches und wertvolles Material von Beobachtungen gewann sodann LEHMANN durch seine vorzugsweise mit dem Luftplethysmographen ausgeführten neueren Versuche. Außer den Gefühlen der Lust und Unlust, die er, wie MENTZ, der hergebrachten Auffassung folgend, allein als Gefühle gelten ließ, bezeichnete er jetzt namentlich die »Spannung« als ein überall in die Symptome eingreifendes Moment, das er jedoch nicht als ein Gefühl, sondern wesentlich als einen physiologischen Zustand betrachtete, der sich aber besonders auch mit dem psychischen Zustand der Aufmerksamkeit verbinden könne[4]. Dabei gab LEHMANN in seinem Atlas einen so vollständigen Einblick in sein Versuchsmaterial, und in den beigegebenen Beschreibungen bis zu einem gewissen Grade auch in die subjektiven Begleiterscheinungen, daß diese Versuche selbst für denjenigen verwertbar bleiben, der die Ergebnisse nicht überall vom Standpunkte des Verfassers aus betrachtet. Der obigen Darstellung habe ich demgemäß zum Teil die Bilder des LEHMANNschen Atlasses unter Zuhilfenahme seiner Angaben über die Reizeinwirkungen neben den hauptsächlich benützten, in der psychologischen Fragestellung wie in der Verwertung der Ergebnisse von LEHMANN abweichenden neueren Arbeiten zugrunde gelegt[5]. In der Tat stimmen die Ergebnisse von MEUMANN und ZONEFF und von W. GENT, obgleich unabhängig gewonnen, durchaus untereinander und auch mit LEHMANNS Versuchen überein. Von ZONEFF selbst

---

1 LEHMANN, Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892.

2 BINET et COURTIER, L'Année psychologique, t. 2, 1895, p. 87. t. 3, 1896, p. 30. BINET et VASCHIDE, ebend. p. 127.

3 MENTZ, Über die Wirkung akustischer Sinnesreize auf Puls und Atmung. Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 61, 563.

4 LEHMANN, Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. 1899 und 1901. Atlas 1898.

5 In meinen den hier benutzten Versuchen vorausgegangenen »Bemerkungen zur Theorie der Gefühle« (Philos. Stud. Bd. 15, 1899) sind S. 161 f. Beispiele plethysmographischer Kurven aus LEHMANNS Atlas für die sechs Grundformen der Gefühle mitgeteilt, die noch heute wohl im wesentlichen als zutreffend gelten können. Vgl. auch Völkerpsychologie[2], Bd. 1, I, S. 46 ff.

sind in seiner Bearbeitung der von ihm gemeinsam mit MEUMANN gemachten Beobachtungen die Spannungsgefühle unter dem Ausdruck »Aufmerksamkeit« zusammengefaßt worden. Da dies kein psychologischer Elementarbegriff ist, der so bezeichnete Zustand aber nie ohne Spannungsgefühle vorkommt, so glaubte ich um so mehr berechtigt zu sein, die hier der Aufmerksamkeit beigelegten Symptome ohne weiteres den Spannungsgefühlen zuschreiben zu dürfen, als die sonstige Schilderung durchaus mit den Entstehungsbedingungen der letzteren übereinstimmt. Aus demselben Grunde glaube ich auch LEHMANNS Begriff der »Spannung« wenigstens der Hauptsache nach auf Spannungsgefühle beziehen zu dürfen. Gestattet man sich diese Voraussetzung, so zeigen nun die Ergebnisse von LEHMANN, MEUMANN und ZONEFF, W. GENT, ALECHSIEFF, SALOW u. a., mit Ausnahme einiger mit der Überdeckung der Symptome zusammenhängender, in das Gebiet der Affekte hinüberreichender Erscheinungen, eine große Übereinstimmung. Hinsichtlich der Symptome der Erregung und Beruhigung, der Lust und Unlust gilt dies auch für die Ergebnisse von MENTZ und M. BRAHN, wobei freilich zu bemerken ist, daß sich MENTZ auf die Messung von Pulslängen, ohne Beilegung graphischer Beispiele, und BRAHN auf die Untersuchung der sphygmographischen Kurven beschränkt hat[1]. Können so die beiden Dimensionen der Gefühle Lust-Unlust und Erregung-Beruhigung als allseitig gesichert gelten, so verhält es sich freilich einigermaßen anders bei der Dimension der Spannungs-Lösungsgefühle. Führen hier auch die andern neueren Versuche, die in ihren graphisch mitgeteilten Ergebnissen einen zureichend vollständigen Überblick geben, zu einem übereinstimmenden Resultat, so scheint das auf den ersten Blick bei MENTZ und BRAHN anders zu liegen, indem MENTZ bei »unwillkürlicher« und bei »willkürlicher« Aufmerksamkeit entgegengesetzte Symptome beobachtet hat, und BRAHN sogar ausdrücklich als Merkmal der Spannungsgefühle neben der von ihm beobachteten Dikrotie Beschleunigung des Pulses angibt. Nimmt man nun aber an — was nach den sonst diesen beiden Begriffen zukommenden Eigenschaften wahrscheinlich ist —, daß MENTZ bei seiner »unwillkürlichen Aufmerksamkeit« einen wesentlich durch Spannungsgefühle, bei seiner »willkürlichen« einen durch Spannungs- und Erregungsgefühle charakterisierten Zustand im Auge hatte, so würde sein Resultat, wenn man die wechselseitige Überdeckung der Symptome in Betracht zieht, mit dem obigen übereinstimmen: seine »unwillkürliche Aufmerksamkeit« würde dann eben dem Zustand relativ rein ausgebildeter Spannungsgefühle entsprechen[2]. Die Resultate BRAHNS endlich sind wohl deshalb in diesem Fall nicht entscheidend, weil sowohl seine Messungen wie die mitgeteilten Kurven eine zu kleine Zahl von Pulsen umfassen. Es ist daher wahrscheinlich, daß sie noch in die Übergangsperiode fallen, in der sich die Spannung erst vorbereitet. Dazu kommt als ein Zeugnis, das auch diese Autoren in übereinstimmendem Sinne für die oben geschilderten Symptome der Span-

---

[1] M. BRAHN, Experimentelle Beiträge zur Gefühlslehre. Philos. Stud. Bd. 18, S. 127.

[2] Hinsichtlich der Unterscheidung der »unwillkürlichen« und »willkürlichen« Aufmerksamkeit überhaupt sei hier vorläufig bemerkt, daß sie zu jenen Wortunterscheidungen gehört, die ja in der Psychologie noch immer ihr Dasein fristen, obgleich ihnen absolut nichts Reales zugrunde liegt. Der Zustand der Aufmerksamkeit ist seinem Wesen nach immer derselbe, wenn auch seine Grade und Verlaufsformen abweichen können. Näheres hierüber in Abschn. V.

nungs- und Lösungsgefühle ablegen, daß nach ihnen jeder indifferente Empfindungsreiz eine Verlangsamung des Pulses zur Folge haben soll. Nun ist aber ein gleichgültiger Reiz, wenn er unter den Bedingungen solcher Versuche auf die Versuchsperson einwirkt, wohl tatsächlich nie indifferent, sondern er erregt eine geringe Spannung der Aufmerksamkeit und ist so vielleicht derjenige Vorgang, der die verhältnismäßig günstigste Bedingung für die Entstehung reiner Spannungsgefühle mit sich führt[1]. Einen besonderen Einfluß der Gefühlsdauer hat endlich noch STÖRRING beobachtet, indem bei rasch vorübergehenden Gefühlen diese, wie sich besonders an Geschmackseindrücken zeigte, subjektiv weit mehr den Charakter eines auf die Empfindung selbst beschränkten Gefühlstons besaßen, wogegen, sobald sie zu dauernderen Stimmungen wurden, das ganze Bewußtsein beteiligt erschien[2]! Da die Stimmungen, wie wir sehen werden, ihrem Wesen nach schwache Affekte von längerer Dauer sind und anderseits dauernde Gefühle stets die Neigung haben in Affekte bzw. Stimmungen umzuschlagen, so erklären sich wohl diese subjektiven Unterschiede wie die sie begleitenden Ausdruckssymptome ohne weiteres aus der später zu erörternden Eigenschaft der Affekte, daß besonders in ihnen Gefühle verschiedener Dimensionen sich verbinden und in diesen Verbindungen sich wechselseitig verändern. (Vgl. unten Bd. 3, Kap. XVI.)

3. Eigenschaften der einfachen Gefühle.

a. Begriff des einfachen Gefühls.

Als einfache Gefühle werden wir zweckmäßig solche selbständig vorkommende Gefühle bezeichnen, die zwar mit andern Bewußtseinselementen Verbindungen eingehen können, ihrerseits aber sich in einfachere, ebenfalls selbständig vorkommende Gefühle nicht mehr sondern lassen. Dagegen nennen wir ein Gefühl ein zusammengesetztes, wenn es in mehrere Teilgefühle zerlegt werden kann, die uns ebensowohl selbständig wie in andern Verbindungen begegnen können. Auf die Möglichkeit des wirklichen, selbständigen Vorkommens ist demnach bei dem Begriff des einfachen Gefühls das Hauptgewicht zu legen. Wo irgendein bei der Analyse der Gefühle gewonnener Bestandteil nicht als wirklich existierendes Gefühl, sondern nur als einzelne Bestimmung eines solchen möglich ist, da handelt es sich nicht mehr um ein Gefühl, sondern um eine Eigenschaft von Gefühlen, ähnlich wie Intensität und Qualität der Empfindung nicht Empfindungen, sondern Eigenschaften jeder Emp-

---

[1] Allerdings beobachtete BRAHN eine sehr schwache Verlängerung des Pulses auch bei Reizen unter der Reizschwelle. Ich bekenne, daß ich die minimalen Unterschiede, die hier in BRAHNS Kurven vorkommen, nicht für entscheidend halte, da die kleinen normalen Schwankungen der Pulskurve, für die man keine Ursache aufzufinden weiß, oft noch beträchtlicher sind.

[2] STÖRRING, Arch. für die ges. Psychol. Bd. 6, 1906, S. 316 ff.

findung sind. In der Tat kommen nun diese beiden Eigenschaften der Intensität und der Qualität, als unlösbar aneinander gebundene Bestimmungen aller einfachen psychischen Inhalte, auch jedem Gefühl zu. Aber die einfachen Gefühle besitzen neben diesen, ihnen mit den Empfindungen gemeinsamen Eigenschaften noch andere, eigenartige, die durch die Anordnung aller überhaupt vorkommenden Gefühle in einem einzigen zusammenhängenden Kontinuum, wie es in Fig. 230 (S. 298) seinen symbolischen Ausdruck gefunden hat, bedingt sind. In diesem Kontinuum ist im allgemeinen jedes Gefühl nach drei Dimensionen zugleich bestimmt, so daß es nur in gewissen Grenzfällen auf deren zwei oder sogar nur auf eine einzige beschränkt bleibt. Darin liegt ein wesentlicher Unterschied von den Empfindungen, die sich infolge der Differenzierung der Sinne, in eine Anzahl disparater Gebiete scheiden, zwischen denen es unserem Bewußtsein an allen Beziehungspunkten mangelt. Die Gefühle dagegen bilden hinsichtlich jener Grundformen wenigstens, deren subjektive Eigenschaften und objektive Symptome oben erörtert wurden, eine einzige, unabänderlich zusammenhängende Mannigfaltigkeit.

Hierdurch geschieht es nun, daß zu jenen Grundeigenschaften aller psychischen Elemente, der Intensität und der Qualität, bei den Gefühlen noch eine weitere Bestimmung hinzutritt, welche die Einordnung in das allgemeine Kontinuum der Gefühle angibt. Jedes Gefühl ist in seiner ihm eigenen, keinem andern zukommenden qualitativen Besonderheit stets zugleich dadurch charakterisiert, daß eben diese Qualität zu den Grundformen der Lust oder Unlust, der Erregung oder Depression, der Spannung oder Lösung gehört, sei es, daß es nur in eine, oder daß es in zwei oder drei dieser Dimensionen hineinreicht. Bezeichnen wir die Qualität und die Intensität als die Grundeigenschaften des Gefühls, so ist demnach die erste dieser Eigenschaften, die Qualität, darin noch näher bestimmt, daß sie sich irgendwie dem nach den drei allgemeinen Grundformen geordneten Kontinuum der Gefühle einfügt. Zur Unterscheidung von jenen Grundeigenschaften wollen wir diese Bestimmungen des Gefühls nach seinen Hauptrichtungen als die Komponenten der Gefühlsqualität bezeichnen, wobei man wohl an eine gewisse Analogie mit der Zerlegung irgend einer Bewegung in ihre nach drei Koordinatenrichtungen gehenden Komponenten denken darf. In der Tat sind jene Komponenten der Gefühle an und für sich ebensowenig wirkliche Gefühle, wie diese zum Zweck der Analyse einer Bewegung vorgenommenen Zerlegungen wirkliche Bewegungen sind. Diese Analogie zeigt zugleich deutlich, daß die Zerlegbarkeit der einfachen Gefühle in Komponenten eine unmittelbare Folge der Zugehörigkeit aller Gefühlsqualitäten zu einem und demselben Kontinuum ist, was aber natürlich nicht ausschließt, daß

diese qualitativen Komponenten indirekt auch von der Intensität sowie von der zeitlichen Dauer der Gefühle und endlich selbst von mannigfachen assoziativen Beziehungen abhängig sein können. Diese Verhältnisse lassen sich, trotz der obwaltenden wesentlichen Verschiedenheiten, einigermaßen durch eine andere, diesmal auf psychologischem Gebiete liegende Analogie verdeutlichen, nämlich durch die mit den mehrdimensionalen Empfindungssystemen, z. B. mit dem der Lichtempfindungen. Jede Lichtempfindung ist bestimmt nach Helligkeit, Farbenton und Farbengrad. (Vgl. oben Kap. X, S. 145.) Diese bilden untrennbare Bestandteile der Lichtempfindung: sie sind also nicht selbständige Empfindungen, sondern eben nur Faktoren oder Komponenten, die wir bei der Analyse der Empfindungen gewinnen. Dies schließt aber nicht aus, daß eine konkrete Empfindung, wie die reine Helligkeitsempfindung, nur durch eine einzige dieser Komponenten bestimmt ist, und daß die Intensität und die zeitliche Dauer auf diese an sich der Empfindungsqualität zugehörenden Elemente verändernd einwirken, wie wir dies an dem Einfluß der Lichtstärke auf Helligkeit und Farbengrad, sowie hinsichtlich der Dauer an den Nachbildwirkungen tatsächlich beobachten.

Natürlich soll dieses Beispiel nur eine verdeutlichende Analogie sein. Daß dabei sehr wichtige Verschiedenheiten obwalten, zeigt sich ja namentlich an den bei den Lichtempfindungen wesentlich anders beschaffenen Einflüssen von Reizstärke und Reizdauer, die, wie wir annehmen dürfen, hier in den peripheren Vorgängen der Netzhauterregung begründet sind, während die entsprechenden Einflüsse bei den Gefühlen zentraler psychophysischer Art sind. In dem E i n e n aber ist die Analogie jedenfalls zutreffend, daß in dem einzelnen Gefühl jene Bestimmungen, die wir als Lust oder Unlust, Erregung oder Beruhigung, Spannung oder Lösung bezeichnen, nicht selbständige Gefühle sind, in die sich jenes zerlegen ließe, sondern daß sie eben in demselben Sinne, wie die Komponenten oder Faktoren der Qualität bei der Lichtempfindung, Erzeugnisse einer Analyse sind, zu der uns freilich die Erscheinungen selbst nötigen. Dabei können sich dann innerhalb eines Gefühlsverlaufs oder bei dem wechselnden Vorkommen eines im übrigen übereinstimmenden Gefühls die Verhältnisse dieser Komponenten fortwährend verändern. In dem wirklichen Gefühl bleiben sie aber immer aneinander gebunden, so daß sie in diesem Sinne eine selbständige Existenz nicht besitzen. Hieran darf uns auch der Umstand nicht irre machen, daß neben irgendeinem konkreten Gefühl, welches drei oder zwei Komponenten enthält, andere, im übrigen verwandte vorkommen mögen, die nur eine einzige enthalten. Hier wie dort bleibt das einzelne Gefühl eben ein spezifischer Inhalt unseres Bewußtseins, wie denn auch die besondere Lust-, Erregungs-,

Spannungsqualität usw. durch diese Ausdrücke nur nach ihrer allgemeinen Richtung, nicht in ihrer besonderen Beschaffenheit definiert wird. In dieser Beziehung hängt die bei der Gefühlsanalyse sich ergebende Notwendigkeit, die angegebenen Eigenschaften als Komponenten oder Faktoren der konkreten Gefühle, nicht selbst als konkrete Gefühle zu betrachten, auf das engste mit der in der unmittelbaren Beobachtung zu konstatierenden Eigenschaft der Gefühlsrichtungen zusammen, daß sie Grundformen sind, deren jede eine Fülle von Gefühlselementen in sich schließt, nicht aber selbst konkrete Einzelgefühle, die in jedem Fall, wo wir die für sie geschaffenen Namen gebrauchen, in unveränderter Qualität wiederkehren.

Leicht bestätigen sich uns diese Verhältnisse, wenn wir aufmerksam und unbefangen an der Hand der Eindrucksmethode die auf verschiedene Reize eintretenden Gefühlsreaktionen beobachten. Ein gesättigtes spektrales Rot im Dunkelraum erweckt mir ein Gefühl, das ich in die Komponenten der Lust und der Erregung zerlegen kann. Aber diese besitzen hier erstens ihre spezifische, dem Eindruck mit keinem andern gemeinsame Nuance, und sie sind zweitens in ihrer Vereinigung bei diesem konkreten Eindruck nicht voneinander zu scheiden. Oder das Gefühl, das die süße Geschmacksempfindung begleitet, enthält, soviel ich finden kann, nur ein einfaches Lustgefühl; das Gefühl beim Geruch des Menthol enthält die zwei Komponenten der Lust und der Erregung. Weder kann ich aber diese wieder in dem spezifischen Gefühl voneinander sondern, noch ist in meiner unmittelbaren Auffassung das Lustgefühl des Menthol mit dem des Zucker identisch. Beide sind in ihrer Richtung verwandt, was ich eben damit ausdrücke, daß ich sie als Lustgefühle bezeichne; aber gleich sind sie nicht. Je mehr man sich in solchen Beobachtungen übt, um so sicherer wird man in der Analyse der konkreten Gefühle; und um so mehr wird man doch auch vor der Gefahr bewahrt, die Produkte einer solchen Analyse für unmittelbare Wirklichkeiten zu halten, während es der gewöhnliche Fehler vulgärer Reflexionspsychologie ist, daß sie selbst da, wo sie nicht eigene intellektuelle Überlegungen in ihre Gegenstände projiziert, auf der einen Seite die komplexen Erscheinungen unzulänglich analysiert, und auf der andern da, wo sie einmal eine Analyse ausführt, unbesehen die Produkte dieser Analyse für selbständige Wirklichkeiten ansieht.

Besteht zwischen den einfachen Gefühlen und den einfachen Empfindungen bei aller Verschiedenheit der Eigenschaften und demnach auch der Komponenten, in die sie eventuell zerlegbar sind, doch in dieser Analysierbarkeit des in der Erfahrung einheitlich Gegebenen nach verschiedenen Richtungen hin eine innere Verwandtschaft, so ist nun weiter-

hin eine solche auch darin zu finden, daß das einfache Gefühl schließlich ebensowenig wie die Empfindung jemals für sich allein, unvermischt mit andern Gefühlen oder Empfindungen, und darunter meist auch mit Elementen gleicher Art, in unserem Bewußtsein vorkommt. In diesem Sinne ist daher das einfache Gefühl selbst wieder Gegenstand einer Abstraktion, aber doch einer Abstraktion von einer wesentlich andern Art, als sie bei der Analyse der Eigenschaften oder der Komponenten einer Empfindung oder eines Gefühls obwaltet. Ein einzelner Ton, eine einzelne Farbe können sich zwar in der mannigfaltigsten Weise mit andern Empfindungen verbinden und sich infolgedessen als intensive oder extensive Verbindungen darbieten. Indem sie aber in jedem Augenblick aus den konkreten Verbindungen aus- und in andere eintreten können, bewähren sie eben in diesem Wechsel der Erscheinungen ihre relative Selbständigkeit als wirkliche Einzelinhalte des Bewußtseins. Genau so verhält es sich mit den einfachen Gefühlen. Nur verrät sich hierbei die Eigenart des Gefühlslebens wiederum darin, daß, wie die Einzelgefühle nach ihren Hauptrichtungen eine einzige zusammenhängende Mannigfaltigkeit bilden, so auch die Verbindungen der einfachen Gefühle zu zusammengesetzten überall wieder auf die Erzeugung einheitlicher Gebilde ausgehen, die in einem gegebenen Moment den gesamten Gefühlsinhalt des Bewußtseins zu einem einzigen Totalgefühl zu vereinigen streben.

Hierin macht sich ein Prinzip der Verbindung der Elemente geltend, welches der Tatsache der Zerlegbarkeit in Komponenten, die einer einzigen zusammenhängenden Mannigfaltigkeit angehören, als das korrespondierende synthetische Prinzip gegenübersteht. Die ganze Bedeutung dieses Prinzips wird sich selbstverständlich erst bei der Betrachtung der aus einfachen Gefühlen zusammengesetzten Gemütsbewegungen übersehen lassen. Immerhin können wegen der in demselben zum Ausdruck kommenden wesentlichen Eigentümlichkeiten des Gefühlslebens diese Erscheinungen hier nicht ganz übergangen werden. Der allgemeine Charakter derselben soll daher, nachdem hierzu durch die Analyse der einfachen Gefühle die Grundlage gewonnen ist, an ihren relativ einfachsten Formen erläutert werden. Zu ihnen gehören jene Gefühlsresultanten, die man, als das Ergebnis der gesamten auf die Zustände des eigenen Körpers und seiner Organe bezogenen Gefühle, mit dem Namen des »Gemeingefühls« zu bezeichnen pflegt.

b. Intensitätsänderungen der Gefühle.

Von dem »Auf- und Abwogen der Gefühle« pflegt man schon auf Grund der alltäglichen Erfahrung mit Vorliebe zu reden. In der Weise, in der man diese bildlichen Bezeichnungen, mehr als auf andere psychische

Inhalte, gerade auf die Gefühle anwendet, spricht sich aber zweifellos die psychologische Beobachtung aus, daß im Gebiet der Gefühle Intensitätsänderungen besonders häufig vorkommen und in starken Schwankungen vor sich gehen: ja in diesem »auf und ab« klingt wohl auch schon der Gedanke an, daß bei diesen Bewegungen nicht bloß eine Ab- und Zunahme der Intensität, sondern gelegentlich ein Übergang in ein entgegengesetztes Gefühl oder, um ein durch die symbolische Darstellung in Fig. 230 nahegelegtes Bild zu gebrauchen, ein Wechsel des Vorzeichens eintritt. Mehr als dieser allgemeine Eindruck der Veränderlichkeit und des gelegentlichen Wechsels zwischen Gegensätzen läßt sich freilich der unmittelbaren und zufälligen Selbstbeobachtung nicht entnehmen; und auch die planmäßigere Verfolgung der Erscheinungen mittels der Eindrucks- und Ausdrucksmethode kann kaum hoffen, zu eigentlich exakten Bestimmungen zu gelangen. Jene psychischen Maßprinzipien, welche für die Merklichkeitsgrade der Empfindung genaue Vergleichungen und auf sie begründete Gesetzmäßigkeiten gewinnen ließen, versagen in diesem Fall, weil die Gefühlsreaktionen, die auf äußere Reize eintreten, weit irregulärer sind, indem hier nicht nur die bei der Empfindung relativ leicht zu eliminierenden Verhältnisse veränderlicher Reizbarkeit eine ungleich größere Rolle spielen, sondern indem auch noch andere Einflüsse, darunter namentlich das Verhältnis zu gleichzeitigen oder vorangegangenen Vorgängen, überall modifizierend sich einmischen. Gleichwohl bleibt auch in diesem Fall selbsverständlich nichts anderes übrig, als daß man den bei der Analyse der Intensitätsänderungen der Empfindung mit Erfolg beschrittenen Weg ebenfalls, soweit wie nur immer möglich unter Beachtung der obwaltenden Unterschiede der Bedingungen, einzuschlagen sucht. Als der Hauptunterschied aber wird hier jener anzusehen sein, der uns durch das Verhältnis der Begriffe »Eindruck« und »Reiz« an die Hand gegeben wird. Nicht die Reize selbst, sondern immer erst die Wirkungen, die sie im Bewußtsein auslösen, sind es, deren sich hier die Eindrucksmethode bedienen muß. Unter diesen Beziehungen stehen aber naturgemäß wieder diejenigen zu den einfachen Empfindungen im Vordergrund, weil von ihnen vor allem anzunehmen ist, daß die begleitenden Gefühle ebenfalls möglichst einfach sind. Ein solches an eine reine Empfindung gebundenes einfaches Gefühl pflegt man auch den Gefühlston der Empfindung zu nennen. In der Tat läßt sich dieser Ausdruck wohl rechtfertigen, insofern einer bestimmten Empfindung, wie z. B. der Farbe Rot, dem Geruch der Rose usw., eine bestimmte, die betreffende Empfindung unter sonst gleichen Bedingungen annähernd konstant begleitende Gefühlsbeschaffenheit zukommt. In diesem keine weiteren Voraussetzungen einschließenden Sinne wollen wir uns daher auch im

Folgenden dieses Ausdrucks bedienen. Dagegen ist der andere, oft in ähnlicher Bedeutung gebrauchte »sinnliches Gefühl« minder unverfänglich. Es liegt nämlich nahe, dabei an »nicht sinnliche Gefühle« zu denken, von denen etwa die sinnlichen als eine niederere Gattung unterschieden werden sollten. Nun gibt es aber solche nicht-sinnliche Gefühle im psychologischen Sinne ebensowenig, wie es etwa nicht-sinnliche Vorstellungen gibt. Man wird also gut tun, lediglich einfache und zusammengesetzte Gefühle zu unterscheiden, wobei freilich wiederum beachtet werden muß, daß die letzteren nicht bloße Summationen der ersteren sind, sondern vielmehr durch die synthetischen Vorgänge, auf denen sie beruhen, wesentlich erst ihren spezifischen, sie von den einfachen unterscheidenden Charakter und ihren psychischen Wert empfangen. Wie aber der Ausdruck »sinnliche Gefühle« keine unterscheidende Bezeichnung ist, ebensowenig würde es anderseits berechtigt sein, sich die zusammengesetzten Gefühle als einfache additive Verbindungen der verschiedenen »Gefühlstöne« zu denken, die den Empfindungen der gleichzeitig im Bewußtsein ablaufenden intellektuellen Vorgänge entsprechen. Sonach ist der Begriff des »Gefühlstones« überhaupt nur eine kurze Bezeichnung für diejenigen einfachen Gefühle, die wir mehr oder minder regelmäßig an bestimmte einfache Empfindungen gebunden vorfinden. Wenn wir das Wort Gefühlston in diesem in seiner Beschränkung klaren und eindeutigen Sinn definieren, so können wir aber das Problem der Intensitätsänderungen der einfachen Gefühle in die Frage zusammenfassen: wie ändert sich bei wechselnder Intensität der Empfindung der Gefühlston der letzteren?

Ist nun auch an eine allgemeingültige Beantwortung selbst dieser einfachen Frage in Anbetracht der ungeheuren Verwickelung der Bedingungen des Gefühlslebens nicht zu denken, so drängt sich doch bei einer der oben unterschiedenen drei Gefühlsdimensionen eine durchgreifende, wenngleich im einzelnen mannigfachen Schwankungen unterworfene Beziehung zwischen Empfindungsintensität und Gefühlston der Beobachtung auf: bei den Lust- und Unlustgefühlen. Sehr intensive Empfindungen sehen wir nämlich stets mit einem Unlustgefühl verbunden, das dann weiterhin mit der Stärke der Empfindung bis zu einer Maximalgrenze, die der Reizhöhe entspricht, zunimmt. Jener untere Grenzpunkt dagegen, wo das Unlustgefühl anfängt, wird offenbar als der Nullpunkt der Lust-Unlustdimension betrachtet werden können. Unter diesem Punkte werden demnach im allgemeinen Lustgefühle zu erwarten sein. In der Tat bestätigt dies die Erfahrung insofern, als sie bezeugt, daß in allen Sinnesgebieten vorzugsweise Empfindungen von mäßiger Stärke Lustgefühle auslösen. So verbinden sich mit den Kitzelempfindungen, die auf rasch wechselnden Hautreizen von geringer Stärke beruhen, mit den Empfin-

dungen mäßiger Muskelanstrengung und Muskelermüdung entschiedene Lustgefühle. Bei den höheren Sinnen treten allerdings die Lust- und Unlustkomponenten überhaupt mehr zurück. Sie sind am ehesten noch dann nachzuweisen, wenn man möglichst die Beziehung auf zusammengesetzte Vorstellungen beseitigt, also einen einfachen Klang oder eine Farbe für sich einwirken läßt, wo dann aber auch hier unzweifelhaft die zunächst wohltuende Empfindung bei wachsender Intensität allmählich in ein Unlustgefühl übergeht. Nimmt die Empfindung mehr und mehr ab, so vermindert sich übrigens gleichfalls das Lustgefühl, bis es nahe der Reizschwelle verschwindend klein geworden ist. Hiernach wird die allgemeine Abhängigkeit des Gefühlstones von der Empfindungsintensität wohl folgendermaßen darzustellen sein. Denken wir uns den Gang der Merklichkeitsgrade der Empfindung in der Weise wie in Bd. 1, Fig. 149, S. 622 durch eine Kurve dargestellt, bei der die Abszissen innerhalb der Lust-Unlustdimension die Reiz- oder die ihnen entsprechenden absoluten Empfindungswerte bedeuten, so können wir, wie früher, den Gang der Merklichkeitsgrade der Empfindung gemäß dem WEBERschen Gesetze durch eine logarithmische Linie, die Abhängigkeit des Lust-Unlustgefühls von der Empfindungsstärke aber durch eine zweite Kurve versinnlichen, die in Fig. 242 punktiert gezeichnet ist. Lassen wir die oberhalb der Abszissenlinie errichteten positiven Ordinaten Werte der Lust, die nach abwärts gerichteten negativen Werte der Unlust bedeuten, so beginnt die Gefühlskurve bei der Empfindungsschwelle a mit unendlich kleinen Lustgrößen und steigt dann zu einem Maximum an, das bei einer gewissen mäßigen Empfindungsstärke c erreicht wird. Von da sinkt sie allmählich wieder und kommt bei e zum Nullpunkt, worauf mit weiterer Zunahme der Empfindungen der Übergang auf die negative Seite allmählich wachsende Unlustgrößen andeutet. Die Kurve, welche die Abhängigkeit des Lust-Unlustgefühls von der Empfindungsstärke darstellt, unterscheidet sich demnach von derjenigen, die den Gang der Merklichkeitsgrade der Empfindung ausdrückt, wesentlich dadurch, daß sie einen Umkehr-

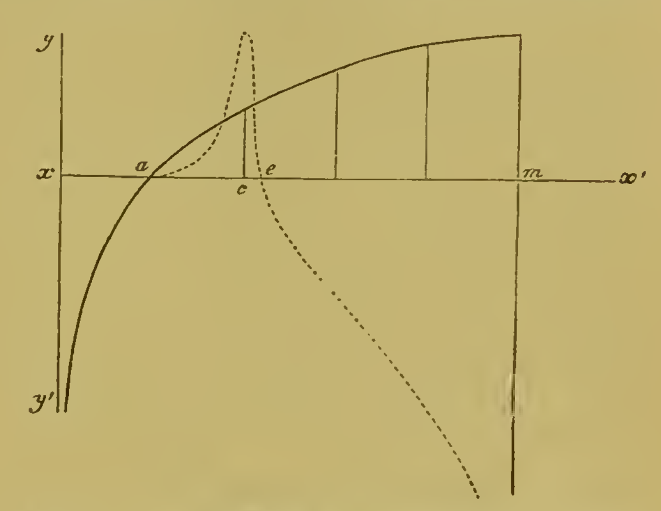


Fig. 242. Lust-Unlustkurve bei wachsender Intensität der Empfindung.

punkt besitzt, womit eben die Bewegung zwischen den entgegengesetzten Zuständen der Lust und Unlust ausgesprochen ist.

Da die Gefühle nicht, wie die Empfindungen, einem exakten Maße unterworfen werden können, so läßt sich auch über die nähere Gestalt dieser Gefühlskurve nichts bestimmteres angeben. Selbst in ihrem allgemeinen Verlauf ist sie nur bei solchen betonten Empfindungen zu verfolgen, die, wie die Druck- und Temperaturempfindungen der Haut, die Organempfindungen, die Geschmacks- und Geruchsempfindungen, die Gegensätze der Lust und Unlust deutlich erkennen lassen, während bei den Empfindungen der beiden höheren Sinne, bei denen die andern Gefühlsrichtungen, namentlich die der Erregung und Beruhigung, überwiegen, jene Beziehungen mehr zurücktreten. Auch für die Lust- und Unlustgefühle der sogenannten niederen Sinne ist aber der ganze Verlauf selbst in seinen allgemeinen Zügen nur selten zu verfolgen, teils weil schwächere Empfindungen samt ihrer Gefühlsbetonung unserer Aufmerksamkeit entgehen, wie bei vielen Organempfindungen, teils weil intensiveren Empfindungen andere, ebenfalls gefühlsbetonte sich beimengen: so bei den Druck- und Temperaturempfindungen, mit deren höheren Graden stets Schmerzempfindungen verbunden sind. Übrigens pflegen sich diese bei einer bestimmten Reizintensität auch den Gesichts- und Gehörseindrücken beizumischen und so mehr oder weniger schnell die eigentümliche Gefühlsbetonung derselben durch das spezifische Unlustgefühl des Schmerzes zu verdrängen[1]. Am ungestörtesten von solchen Einflüssen der Vermischung erscheint die Abhängigkeit der Lust-Unlustkomponenten von der Stärke der Empfindung bei den im allgemeinen durch ihre lebhafte Betonung in diesen Richtungen ausgezeichneten Geschmacks- und Geruchseindrücken, so daß hier das allmähliche Wachsen des Gefühls mit der Empfindung und sein Übergang aus der Lust- in die Unlustphase in der Regel deutlich zu verfolgen ist. Zwar sind es von den Geschmäcken nur der saure und der salzige, denen man die Eigenschaft eines bei schwächerer Einwirkung angenehmen, bei stärkerer unangenehmen Geschmacks zuzuschreiben pflegt, während das Süße meist ohne Einschränkung als ein angenehmer, das Bittere als ein unangenehmer Eindruck bezeichnet wird. Dennoch wird man nicht anstehen einen mäßigen bittern Geschmack, wie ihn z. B. ein gutes Bier darbietet, angenehm und dagegen die Süßigkeit einer starken Sacharinlösung unangenehm zu finden. Es scheint also, daß auch in diesen Fällen die gleiche Beziehung zur Stärke der Empfindung besteht. Ebenso ist es bekannt, daß Gerüche, die in konzentrierter Form zu den unangenehmsten gehören, wie gewisse Produkte

---

[1] ALFR. LEHMANN, Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892, S. 170 f.

der Teerdestillation, in starker Verdünnung als Wohlgerüche Verwendung finden; umgekehrt werden uns die angenehmsten Blumengerüche, wie Rosen-, Lavendelöl und ähnliche, in konzentrierter Form unerträglich. Hiernach scheint es, daß bei allen diesen zwischen den reinen Formen der Lust und Unlust hin und her schwankenden Gefühlen der Unterschied ihrer Abhängigkeit von der Empfindungsstärke nur auf dem verschieden raschen Verlauf der Gefühlskurve beruht. Während im einen Fall die Lust schon nahe über der Reizschwelle auf ihr Maximum steigt, um dann sofort zu sinken und in wachsende Unlustwerte überzugehen, mag in einem andern der ganze Verlauf weiter gegen die Reizhöhe verschoben, und die Gegend um das positive Maximum ausgedehnter sein. Der erste dieser Fälle wird bei solchen Empfindungen verwirklicht sein, die wir bei wachsender Stärke der Reize sehr bald als unangenehme, der zweite bei solchen, die wir durchgängig als angenehme betrachten.

Eine scheinbare Ausnahmestellung nimmt unter diesen Gefühlen das Schmerzgefühl ein. Wie die Schmerzempfindung eine von den Druck-, Temperatur- und andern Empfindungen, mit denen sie sich verbinden kann, verschiedene und gelegentlich auch isoliert vorkommende Empfindung ist, so ist die Gefühlsbetonung des Schmerzes durchaus zu trennen von den Gefühlen, die an andere begleitende Empfindungen gebunden sind. Eine sehr starke Druck-, Wärme- oder Kälteempfindung zeigt, auch ohne daß Schmerz hinzutritt, eine unangenehme Gefühlsbetonung. Im normalen Zustand, bei Abwesenheit analgetischer Zustände, pflegt jedoch die den Schmerz verursachende direkte Reizung der Nerven schon einzutreten, ehe bei den Druck- und Temperaturempfindungen die Unlustgrenze erreicht ist. Hier wird dann das etwa noch vorhandene schwache Lustgefühl der Wärme oder auch das schon auf den Nullpunkt sinkende indifferente Gefühl eines Druckes vollständig durch das Schmerzgefühl übertäubt. Dabei ist dieses zugleich das einzige sicher nachweisbare Beispiel eines Gefühls, das nur als verschiedengradiges Unlustgefühl, nie als Lustgefühl vorkommt. Dies läßt sich wohl aus dem von allen andern Empfindungen wesentlich abweichenden Verhalten der Schmerzempfindungen erklären. Wir empfinden, wie früher (Bd. 1, S. 458) bemerkt, Schmerz, wenn ein sehr starker Reiz, sei es von außen stammend, sei es im Organismus entstehend, bestimmte sensible Nerven trifft. Schmerzreize von minimaler Größe gibt es also überhaupt nicht. Selbst jene Schmerzempfindungen, die bei der Erregung der Schmerzpunkte der äußeren Haut mit verhältnismäßig schwachen Reizen entstehen (s. oben S. 13 ff.), setzen sofort mit einer Stärke ein, die der Reizhöhe nahe liegt, und von der aus dann nur noch relativ geringe Intensitätsänderungen stattfinden. Somit können wir uns das Wachstum einer Schmerzempfin-

dung durch eine sofort bei der Reizschwelle mit bestimmten positiven Werten beginnende Empfindungskurve und demnach das Wachstum des Schmerzgefühls durch den bei *e* (Fig. 242) beginnenden negativen Teil der Gefühlskurve veranschaulichen. Hiernach bringen es wohl nur die besonderen psychophysischen Bedingungen der Schmerzempfindung mit sich, daß bei ihnen mit den im näheren Umkreis der Reizschwelle liegenden Empfindungen auch die entsprechenden Gebiete der Gefühlskurve hinwegfallen.

Darf, unter Berücksichtigung dieses nicht sowohl den Gefühls- als den Empfindungselementen zuzurechnenden Ausnahmefalls, der Satz als ein allgemeingültiger angesehen werden, daß sich der Gefühlston der Empfindung in seiner Lust-Unlustkomponente derart stetig mit der Empfindungsintensität ändert, daß er mit dem Wachstum der Empfindungsstärke entgegengesetzte Gefühlsphasen durchläuft, so lehrt nun aber die Beobachtung, daß eine ähnliche Beziehung bei den übrigen Gefühlskomponenten nicht besteht. Wohl kann eine Erregung in Beruhigung, eine Spannung in Lösung übergehen, und dieser Fall ereignet sich im zeitlichen Verlauf der Gefühlsvorgänge sehr häufig. Nirgends sind aber hier die entgegengesetzten Gefühlsrichtungen bestimmten Intensitätsunterschieden derart zugeordnet, daß sich ein bestimmtes Gefühl bei Zunahme der Empfindungsstärke eindeutig und stetig durch einen Indifferenzpunkt hindurch in sein Kontrastgefühl umwandelt; sondern überall, wo sich solche Übergänge zu vollziehen scheinen, da handelt es sich in Wahrheit um Mischgefühle, deren Komponenten bei Veränderung der Reizintensität zugleich qualitative Veränderungen erfahren. So hat die rote Farbe unter allen Umständen eine erregende, mit zunehmender Reizstärke im gleichen Sinne zunehmende Gefühlswirkung. Aber diese verbindet sich nun, sobald sich die Intensitätsänderung innerhalb weiterer Grenzen bewegt, zugleich mit den qualitativen Unterschieden des Hellen und Dunkeln, von denen das erstere erregend, das zweite beruhigend wirkt. Ein dunkles Rot kann daher nun ebenfalls im Verhältnis zur helleren Farbe beruhigend erscheinen. Aber dies geschieht nicht in der Form einer eindeutigen Funktionsbeziehung zwischen Gefühl und Empfindungsstärke, daher auch die mittlere Gefühlslage niemals einem Gefühlswerte Null entspricht. Ähnlich verhält es sich mit den Gegensätzen leiser und lauter Töne, wo jene wesentlich der qualitativ abweichenden Klangfärbung ihre relativ beruhigende Gefühlswirkung verdanken (s. unten c).

Wenn sich auch, wie oben bemerkt, wegen der Unmöglichkeit einer exakten Meßbarkeit der Gefühlsstärke, abgesehen von der allgemeinen Form der Gefühlskurve etwas Näheres über deren Verlauf bei wachsender Empfindungsintensität nicht aussagen läßt, so scheint mir doch aus den der gewöhnlichen Beobachtung geläufigen Erscheinungen hervorzugehen, daß die in Fig. 242

gezeichnete punktierte Kurve einigermaßen als ein Bild des in den einfachsten Fällen zu konstatierenden normalen Verhältnisses der Lust-Unlustkomponente zur Stärke der Empfindung gelten dürfte. Vor allem kommt in dieser Kurve die Tatsache zum Ausdruck, daß das Maximum des Lustgefühls nur an einen eng begrenzten Umfang von Empfindungsintensitäten gebunden zu sein pflegt. Ist dieses Maximum auch kein Punkt, so scheint es doch eine Strecke von verhältnismäßig kleiner Ausdehnung zu sein. Infolge des später zu besprechenden Einflusses der Zeitdauer der Empfindung auf den Gefühlston und anderer Bedingungen mag sich dieses Maximum bei einer und derselben Empfindung erheblich verschieben können; unter konstant gehaltenen Bedingungen, wie sie hier vorauszusetzen sind, dürfte aber der Umfang der Lustgefühle innerhalb einer gegebenen Skala von Empfindungsstärken überhaupt relativ beschränkt sein und daher auch das Lustmaximum nur einen kleinen Raum einnehmen. Die Grenzen z. B., innerhalb deren uns das Saure, Salzige, Bittere usw. ein Maximum angenehmen Geschmacks erweckt, scheinen sehr enge zu sein. Der Weg vom zu wenig zum zu viel ist ja bekanntlich nach den Erfahrungen der Kochkunst bei den Zutaten an Salz, Säure, Gewürzen ein sehr kleiner. Wenn Lehmann in der im übrigen analogen Konstruktion der Gefühlskurve dem Lustmaximum eine erhebliche Ausdehnung zuschreibt[1], so hat dies wohl darin seinen Grund, daß er hierbei hauptsächlich die Empfindungen der beiden höheren Sinne berücksichtigt, die aber, wie ich glaube, schon wegen des überwiegenden Einflusses der andern Gefühlskomponenten hier weniger maßgebend sind. Übrigens scheint es mir, daß auch in der Musik und Malerei überall, wo nicht vorübergehend ungewöhnlich starke Kontrastwirkungen beabsichtigt sind, die Intensität der zur normalen ästhetischen Wirkung verwandten Eindrücke im Verhältnis zur ganzen Ausdehnung der realen Empfindungsskala nur einen beschränkten Raum einnimmt. Neben den zwischen Lust und Unlust sich bewegenden Gefühlen, für die er sich, abgesehen von dem soeben erwähnten Punkte, der obigen Darstellung der Gefühlskurve anschließt, hat übrigens Lehmann noch ursprünglich unlustbetonte Gefühle unterschieden, denen eine bloß unter der Abszissenlinie verlaufende Kurve entsprechen würde. Er stützt sich dabei teils auf die Schmerzgefühle, teils aber auch auf solche unangenehme Stimmungen, die an zusammengesetzte Vorstellungen gebunden sind. Nun ist, wie oben ausgeführt, der Unlustcharakter der Schmerzgefühle wahrscheinlich nicht sowohl in den Gefühlen selbst, als in den besonderen psychophysischen Bedingungen der Schmerzempfindungen begründet. Bei den zusammengesetzten Vorstellungen aber ist überhaupt die Stärke der Empfindung von verschwindendem Einflusse auf den Charakter des Gefühls, und bei diesem treten häufig wieder die andern Gefühlskomponenten mehr in den Vordergrund. Bei der Übertragung des Begriffs der Empfindungsintensität auf beliebige zusammengesetzte Vorstellungen hat der aus der Herbartschen Psychologie herübergenommene metaphysische Begriff der »Stärke einer Vorstellung« zuweilen noch eine unberechtigte Rolle gespielt. Beim Anblick eines Hauses kann ich zweifellos den einzelnen Empfindungen, aus denen sich das Bild zusammensetzt, eine gewisse Stärke beilegen. Wie aber die Vorstellung als Ganzes neben der nur indirekt und keineswegs eindeutig von der Intensität der in sie eingehenden Empfin-

[1] Lehmann, a. a. O. S. 181.

dungen abhängigen »Klarheit« noch eine ihr zukommende »Stärke« besitzen und durch diese das von ihr abhängige ästhetische Gefühl in einer irgendwie zu deutlichem Ausdruck zu bringenden einfachen Gesetzmäßigkeit bestimmen soll, ist kaum begreiflich. Von einer bestimmten Beziehung zwischen der Intensität des Eindrucks und dem Gefühlston kann darum überhaupt nur bei den einfachen Empfindungen die Rede sein, bei denen ja auch allein, wie oben ausgeführt wurde, der Begriff des »Gefühlstons« eine gewisse Berechtigung besitzt.

Während Anfang und Ende der Lust-Unlustkurve (Fig. 242) unzweideutig durch die Werte der Reizschwelle und der Reizhöhe gegeben sind, ist dies nicht so mit den beiden ausgezeichneten Punkten, die dem Maximum der positiven Lust und dem Indifferenzpunkte entsprechen. Doch hat für den ersteren die Annahme einige Wahrscheinlichkeit, daß er in der Nähe jenes Kardinalwertes der Empfindung liege, wo die Empfindung proportional der Reizstärke wächst[1]. Bei schwächeren Reizen wird nämlich in der Regel die absolute Größe der Empfindung zu klein sein, als daß sich ein Lustgefühl von hinreichender Stärke damit verbinden könnte, bei intensiveren Reizen fehlt es an der genügenden Abstufung in der Intensität der Empfindungen. Daß aber diese beim Gefühl eine wesentliche Rolle spielt, geht aus der Unmöglichkeit hervor, bei beharrender Empfindungsgröße auch dieselben Lustwerte festzuhalten. Da nun der Gefühlston stets, wie wir sehen werden, bei einer gewissen Dauer der Empfindung abnimmt, so werden, wenn nicht abändernde Einflüsse mitwirken, im allgemeinen wohl diejenigen Reizstärken, die für den Wechsel der Empfindungen die günstigste Bedingung darbieten, auch mit den größten Lustwerten verbunden sein. Die Analogien aus dem Gebiet der zusammengesetzteren Gemütsbewegungen scheinen dies zu bestätigen. Für die Schätzung kleiner Schwankungen des Glücks ist der am günstigsten gestellt, bei dem die Beglückung der Zunahme der äußeren Glücksgüter annähernd proportional ist. Unter dieser Grenze ist der absolute Wert der vorhandenen Glücksgüter zu klein, über ihr sind die unter gewöhnlichen Verhältnissen vorkommenden Schwankungen ihrer Werte in ihrer relativen Größe zu unbedeutend, um eine zureichende Befriedigung möglich zu machen. Darum bietet, wie die Erfahrung aller Zeiten lehrt, eine mäßige Segnung mit Glücksgütern für das Gefühl der Beglückung die günstigsten Bedingungen.

In das Gebiet dieser Beziehungen zwischen Intensität des Eindrucks und Stärke des Gefühls gehört schließlich noch eine andere Reihe von Erfahrungen, die von Fechner den allgemeinen Bewährungen des Weberschen Gesetzes zugesellt worden ist, und die in der Tat merkwürdigerweise zum erstenmal zur Aufstellung einer dem psychophysischen Gesetze Fechners gleichenden logarithmischen Funktion Anlaß gegeben hat. Es ist das die sogenannte »Mensura sortis« Daniell Bernoullis oder, wie es Laplace ausdrückte, das Gesetz der Abhängigkeit der »Fortune morale« von der »Fortune physique«[2]. Für den Besitzer von 100 Talern bedeutet, wie man annehmen kann, ein Zuschuß von einem Taler ebensoviel wie für den Besitzer von 1000 ein Zuschuß von 10 Talern. Allgemein ausgedrückt: Die Intensität der Ge-

[1] Vgl. Bd. 1, S. 622.

[2] D. Bernoulli, Comment. Acad. scient. Petropolit. t. 5, 1738, p. 177. Laplace, Théorie analytique des probabilités. 1812, p. 187, 432. Fechner, Psychophysik, Bd. 1, S. 236.

fühlsreaktion wächst proportional den relativen Zuwüchsen der Empfindungsreize[1]. Gleichwohl ist ersichtlich, daß dieses Gesetz, welches sich natürlich in diesem Fall dem nämlichen Relativitätsprinzip subsumieren läßt, dem überhaupt das WEBERsche Gesetz Ausdruck gibt (Bd. 1, S. 632), hier nur innerhalb enger Grenzen seine Geltung bewahren kann. Es muß sie notwendig verlieren, sobald die früher besprochenen Einflüsse der Reizstärke und Reizqualität auf die Richtung des Gefühlstones hervortreten. Diese Einflüsse lassen aber von vornherein annehmen, daß jene »Mensura sortis« nur innerhalb eines Gebietes von Reizstärken, das dem aufsteigenden Teil der Gefühlskurve (Fig. 242) angehört, eine annähernde Wahrheit beanspruchen kann. Auch bringt es der unbestimmtere, einer genauen quantitativen Messung unzugängliche Charakter der Gefühle mit sich, daß bei ihnen von einer exakten Nachweisung des Gesetses selbst in den Grenzen, innerhalb deren die Erfahrung eine ungefähre Übereinstimmung zu ergeben scheint, nicht die Rede sein kann. Dazu kommt, daß eine andere allgemeine Erfahrung für die beschränkte Ausdehnung eintritt, die dem Lustanteil der Gefühlskurve überhaupt zukommt. Dies ist die Tatsache, daß die Eindrücke, die von verhältnismäßig geringer Gefühlsbetonung sind, also dem Indifferenzpunkt nahe liegen, durchweg einer gewissen mittleren Intensitätsregion angehören. Die gewöhnlichen Licht- und Schalleindrücke unserer täglichen Umgebung entsprechen vor allem diesem, für die Geltendmachung der Vorstellungsseite günstigsten Nullpunkt der Gefühlsskala. Wo sie sich zu stärkeren Gefühlswirkungen erheben, wie im ästhetischen Eindruck, da handelt es sich nicht mehr um einfache, sondern um zusammengesetzte Gefühle, in denen die Gefühlstöne der in sie eingehenden Empfindungen verhältnismäßig zurücktreten, und die überhaupt an Bedingungen geknüpft sind, die ihnen im allgemeinen den Charakter von Ausnahmeerscheinungen in dem Zusammenhang unseres Seelenlebens anweisen[2].

c. Qualitative Unterschiede der einfachen Gefühle.

Von der Qualität der Empfindung ist stets auch der Gefühlston, der sie begleitet, in seiner besonderen, für jede Empfindung spezifischen Qualität abhängig. In der einen der Dimensionen des Gefühlskontinuums, in der der Lust-Unlustkomponenten, ist aber, wie wir sahen, die Qualität des Gefühls gleichzeitig derart von der Empfindungsintensität abhängig, daß sie sich bei gleichbleibender Qualität der Empfindung zwischen entgegengesetzten Phasen bewegen kann. Darum, wenn wir im gewöhnlichen Leben gewisse Eindrücke schlechthin als angenehme, lusterregende,

---

[1] Schon BERNOULLI und LAPLACE bringen diesen Satz mathematisch in die logarithmische Form. Bezeichnen wir mit G die Gefühls-, mit R die Reizstärke, mit K und C Konstanten, so ist innerhalb der Grenzen der Gültigkeit des Beziehungsgesetzes:

$$G = K \cdot \log R + C.$$

[2] Vgl. hierzu auch die Ausführungen von TH. LIPPS, Das Relativitätsgesetz der psychischen Quantität und das WEBERsche Gesetz. Sitzungsber. der Münchener Akademie. Philos.-hist. Kl. 1902, 1, S.-A. S. 20 ff.

andere als unlusterregende bezeichnen, so ist das überall nur in der Einschränkung auf diejenigen Empfindungsintensitäten zu verstehen, die bei den betreffenden Eindrücken die häufigsten sind. Das verhält sich nun einigermaßen abweichend bei den andern Gefühlskomponenten. Hier hat eine gegebene Empfindung insofern einen konstanteren Gefühlswert, als derselbe der bestimmten Empfindungsqualität regelmäßig zugeordnet ist, so daß er zwar bei wechselnder Intensität des Eindrucks Gradabstufungen zeigt und bei einer bestimmten Stärke derselben ein Maximum erreicht, niemals aber in einen entgegengesetzten Gefühlston übergeht. So hat z. B. die Farbe Rot einen erregenden Gefühlston, und dieser kann sich bei abnehmender Empfindungsintensität vermindern; aber er geht nicht in das entgegengesetzte Gefühl der Beruhigung über. Wo dieses entsteht, da beruht es auf der begleitenden Helligkeitsabnahme und der mit ihr auftretenden spezifischen Qualität des Schwarz, nicht die Farben. Insbesondere sind es die Gefühle der Erregung und der Beruhigung, die auf solche Weise in ihren einfachsten Formen gewissen Gefühlsqualitäten als solchen anhaften. Dabei sind es nun aber, im Unterschied von den Gemeinempfindungen, den Empfindungen des Tastsinns und der beiden chemischen Sinne, die wir als die Hauptträger relativ isolierbarer Lust-Unlustgefühle kennen lernten, hauptsächlich die beiden objektiveren Sinne, der Gehörs- und der Gesichtssinn, bei denen wir jene Gefühlsgegensätze der Erregung und Ruhe nicht an Intensitäts-, sondern an qualitative Unterschiede gebunden sehen. Offenbar hängt hiermit einerseits die Empfindungstatsache zusammen, daß die Qualitäten dieser Sinne selbst schon wohl geordnete Mannigfaltigkeiten darstellen, innerhalb deren wir ohne weiteres Empfindungen größten Unterschieds einander zuordnen können, während anderseits auf der Beziehung dieser Empfindungen zu objektiven Vorstellungen die Gefühlstatsache beruht, daß die Lust-Unlustkomponenten hier im Vergleich mit den sonstigen Gefühlselementen zurücktreten oder, soweit sie vorhanden sind, mäßige Grade nicht überschreiten.

So sind unter den Schallempfindungen vor allem die Tonhöhen und Klangfarben von charakteristischen Gefühlen begleitet, die sich vorzugsweise in die Dimension der Erregung und Beruhigung als verschiedene Abtönungen derselben und unter wechselnder Beimischung anderer Faktoren, namentlich aus der Reihe der Lust-Unlustkomponenten, einordnen lassen. Tiefe Töne erscheinen uns ernst und würdig, hohe heiter, scherzhaft, während die mittleren Lagen auch in ihrem Gefühlstone zwischen jenen Gegensätzen liegen. Teils weil dadurch die Lustkomponente deutlicher hervortreten kann, teils wohl auch weil diese selbst bei den mittleren Tönen ausgeprägter ist, pflegen sie einer gleichförmig erfreulichen

Stimmung Ausdruck zu geben[1]. Mannigfaltiger sind die Gefühle, die sich an die Klangfarbe anschließen. Aber wie die letztere auf eine Mehrheit von Tönen zurückgeführt werden kann, so scheint es möglich, auch das begleitende Gefühl aus jenen Grundcharakteren der Stimmung abzuleiten, die den Tonhöhen innewohnen. Klangfarben nämlich, bei denen der Grundton rein oder nur mit den nächsthöheren Obertönen verbunden ist, wie z. B. die der Flötenpfeifen der Orgel, sind dem Ausdruck ernsterer Stimmungen angepaßt, Klangfarben, die auf dem starken Mitklingen hoher Obertöne beruhen, wie die der meisten Streich- und Blasinstrumente, mehr den heiter oder leidenschaftlich angeregten Gemütslagen. Wo der durch die Klangfarbe hervorgerufene Gefühlston mit demjenigen der Tonhöhe im Widerstreit steht, da können sich Gefühle von eigentümlicher Färbung bilden, deren Wesen eben auf dem Kontrast der Gefühlstöne beruht, und die uns vornehmlich in gewissen zwiespältigen Affekten, wie in dem Bangen der Erwartung, der Wehmut usw., begegnen. Diese Gefühle finden daher zuweilen in den Klangfarben der Streichinstrumente von geringer Tonhöhe ihren adäquaten Ausdruck. Ganz anders gestaltet sich unter denselben Bedingungen der Gefühlscharakter des Klangs, wenn dieser gleichzeitig eine bedeutende Stärke besitzt, wie bei den Blechinstrumenten. Hier gewinnt er den Charakter energischer Kraft. Wo der Grundton überwiegt, wie beim Horn, da erscheint diese Kraft durch Ernst gedämpft und kann, bei sinkender Klangstärke, bis zur Schwermut herabgedrückt werden. Zu seinem lautesten Ausdruck kommt das Kraftgefühl bei dem von hell schmetternden Obertönen begleiteten Schall der Trompete. Ernst mit gewaltiger Kraft gepaart klingt in den Tonmassen der Posaune und des Fagotts an. Natürlich kann daher ein und derselbe Klang durch wechselnde Stärke mehr dem einen oder dem andern Gefühlston angepaßt werden. Zugleich kommt dabei in Betracht, daß sich mit der Stärke immer auch etwas die Klangfarbe ändert, da bei wachsender Klangstärke die höheren Obertöne intensiver mitklingen. Gehoben wird endlich die Wirkung durch die Verhältnisse der zeitlichen Dauer der Klänge. Der langsame Wechsel der letzteren gibt den ernsten und schwermütigen, der schnelle den freudigen und gehobenen Stimmungen Ausdruck, daher die langsame Klangbewegung die Gefühlstöne der tiefen, die rasche diejenige der hohen Tonlagen steigert.

Nicht selten gewinnt ferner der Charakter solcher Klänge, die von hohen Obertönen begleitet sind, dadurch eine eigentümliche Färbung, daß einzelne dieser höheren Partialtöne Schwebungen bilden und

[1] Mehr als unser tief und hoch enthalten wohl die griechisch-lateinischen Benennungen βαρύ, grave, und ὀξύ, acutum, zugleich einen Hinweis auf diese Gefühlsfärbungen der Töne je nach ihrer Höhe.

Dissonanz erzeugen. Wo auf diese Weise die Dissonanz nur einen Klang begleitet, dessen überwiegende Bestandteile konsonant sind, da fügt sie der sonstigen Wirkung die Eigenschaft einer gewissen Unruhe hinzu, die in dem raschen Wechsel der dissonierenden Klangelemente ihren unmittelbaren sinnlichen Grund hat. Diese Unruhe kann dann wieder verschiedene Färbungen annehmen, die sich nach der sonstigen Natur des Klanges richten. Hat letzterer einen sanfteren Charakter, so liegt in der Dissonanz der höheren Partialtöne das sinnliche Element einer melancholisch-zerrissenen Gemütsstimmung; starken Klängen teilt sich die Stimmung ungeduldiger Energie mit. Derselbe Charakter der Unruhe gelangt endlich zur vorherrschenden Wirkung bei dissonanten Zusammenklängen, bei denen jene wechselseitige Störung, die im vorigen Fall nur einzelne Partialklänge betroffen hat, über eine ganze Klangmasse sich ausdehnt. Sollen solche unruhige Stimmungen möglichst stark ausgedrückt werden, so bedient sich daher die harmonische Musik absichtlich der Dissonanzen. Dabei verlangt die melancholische Stimmung, wie überhaupt eine getragenere Tonbewegung, so auch langsamere Schwebungen, während den energischeren Gemütsbewegungen, die durch rasch bewegliche Klangmassen musikalisch geschildert werden, die scharfe, geräuschähnliche Dissonanz entspricht. Übrigens gehören Konsonanz und Harmonie bereits dem Gebiet der zusammengesetzten ästhetischen Gefühle an, während Schwebungen und Rauhigkeit des Klangs noch einfachen Gefühlen entsprechen, die dann aber freilich, wie alle Gefühlstöne der höheren Sinne, zu Elementen ästhetischer Wirkung werden können[1].

Der Gefühlston der Lichtempfindungen ist von den drei Bestandteilen derselben, dem Farbenton, der Lichtstärke und dem Farbengrad (der Sättigung) abhängig. Demnach bilden hier die Gefühlsqualitäten eine Mannigfaltigkeit, die sich, gleich dem System der Lichtempfindungen selbst, nach drei Dimensionen ordnen läßt. Auch diese zusammengesetztere Mannigfaltigkeit führt aber in allen ihren einzelnen Gefühlstönen auf die Grundformen der erregenden und deprimierenden Gefühle unter wechselnder Beimischung anderer Komponenten, namentlich aus der Lust-Unlustreihe, zurück, und sie bietet einen besonders deutlichen Beleg für die Auffassung, daß die Dimensionen des allgemeinen Gefühlskontinuums eben nur Grundformen der Gefühle, nicht Einzelgefühle bezeichnen (S. 319). Dies tritt nicht minder darin hervor, daß wir hier, ähnlich wie schon bei den Tönen und Klängen, keine sprachlichen Ausdrücke für die spezifischen Gefühlsnuancen besitzen, sondern genötigt sind, sie durch die Namen für die ihnen verwandten zusammengesetzten Affekte

[1] Über die Gefühle der Harmonie und Disharmonie vgl. Abschn. IV.

und Stimmungen anzudeuten. So entsprechen zunächst den Polen des Weiß und Schwarz auf der Farbenkugel (Fig. 191, S. 167) entgegengesetzte Gefühle, dem Schwarz der Ernst und die Würde, dem Weiß die heiteren, lebensfreudigen Stimmungen. Zwischen beiden schwebt das Grau als Ausdruck einer neutralen oder zweifelhaften Gemütslage. Den Gefühlston der reinen Farben verschaffen wir uns am vollkommensten in einfarbiger Beleuchtung, also z. B. bei der Betrachtung einer gleichförmig weißen Fläche durch farbige Gläser, wo, wie GOETHE treffend sagt, man gleichsam mit der Farbe identisch wird, indem sich »Auge und Geist unisono stimmen«[1]. Die Tatsache, daß die Farben eine in sich zurücklaufende Reihe bilden, spricht sich ferner auch in ihrem Gefühlston aus, indem sich die größten Gegensätze des letzteren auf den gegenüberliegenden Hälften des Farbenkreises finden, Violett oder Purpur aber und das diesem komplementäre Grün die Übergänge zwischen beiden Gefühlsseiten vermitteln. Die Farbentöne von Rot bis Grün hat GOETHE als die Plus-Seite, die von Grün bis Violett als die Minus-Seite des Farbenrings bezeichnet, um damit anzudeuten, daß jenen ein erregender, diesen ein herabstimmender Gefühlston innewohne[2]. Da nun die Unterschiede des Gefühls allgemein mit denen der Empfindung zunehmen, so ist anzunehmen, daß sich auch hier diejenigen Farben am meisten unterscheiden werden, zwischen denen innerhalb des Farbenkreises die größte Zahl von Abstufungen liegt. Unter den Hauptfarben bieten in der Tat, wie schon GOETHE erkannt hat, Gelb und Blau den größten Unterschied des Gefühls. Das zu Gelb komplementäre Violett hat bereits etwas von der aufregenden Stimmung des Rot an sich. Gelb wird daher von Malern vorzugsweise als die warme, Blau als die kalte Farbe bezeichnet. Das Grün aber hält auch nach seinem Gefühlston die Mitte zwischen Gelb und Blau: es ist die Farbe der ruhig heitern Stimmung, die wir deshalb am ehesten als dauernde Umgebung ertragen. Während so den drei mittleren Hauptfarben Gefühle entsprechen, welche die sinnlichen Grundlagen einfacher Gemütsstimmungen, der einfachen Erregung und Beruhigung sowie des Gleichgewichts zwischen beiden, bilden, gehören die Endfarben des Spektrums den unruhigen, aufgeregteren Stimmungen an, wobei jedoch der allgemeine Charakter der Plus- und Minusseite erhalten

[1] GOETHES Farbenlehre, § 763. Weimarer Ausgabe, 2. Abt. Bd. 1, S. 309. Allerdings ist, will man den Gefühlston der Farbe rein erhalten, die Betrachtung einer gleichförmig weißen Fläche erforderlich. Die von GOETHE an mehreren Stellen empfohlene Betrachtung einer Landschaft durch farbige Gläser verstärkt allzu sehr die ohnehin wohl niemals ganz fehlenden assoziativen Wirkungen. (Siehe unten 4, c.)

[2] Farbenlehre, a. a. O. S. 306 ff. Vgl. auch FECHNER, Vorschule der Ästhetik, Bd. 2. 1876, S. 212 ff. ALFR. LEHMANN, Farvernes elementäre Ästhetik. (Elementare Ästhetik der Farben.) 1884.

bleibt. So ist das Rot die Farbe energischer Kraft. Bei großer Lichtstärke ist ihm mehr als irgend einer andern ein aufregendes Gefühl eigen, wie denn bekanntlich Tiere und Wilde durch die blutrote Farbe gereizt werden. Bei geringerer Lichtstärke dämpft sich sein Gefühlston zu Ernst und Würde, einem Eindruck, den es noch vollständiger im Purpur annimmt, wo es zu den Farben der ruhigeren Stimmung, Violett oder Blau, übergeht. Das Violett endlich zeigt, entsprechend seiner gleichzeitigen Verwandtschaft zu Blau und Rot, einen Zug düsteren Ernstes und unruhig sehnender Stimmung, der auch dem Indigblau schon teilweise zukommt.

Diese Wirkung der reinen Farben wird nun in entgegengesetzter Weise modifiziert, je nachdem sie entweder durch die Beimengung von Weiß an Sättigung vermindert werden, oder sich infolge der abnehmenden Lichtstärke dem Schwarz nähern. Beiden Veränderungen entsprechen Modifikationen des Gefühls, die sich im allgemeinen als Kombinationen der Wirkung des reinen Weiß und Schwarz mit derjenigen der Farbe betrachten lassen. So wird der aufregende Eindruck des Rot durch verminderte Sättigung im Rosa zu einem Gefühl gemildert, das an den Affekt aufgeregter Freude erinnert. In dem weißlichen Violett oder Lila hat sich der melancholische Ernst des dunkeln Violett zu sanfter Schwermut ermäßigt; im Himmelblau hat die kalte Ruhe des gesättigten Dunkelblau einer ruhigen Heiterkeit Platz gemacht. Nicht minder wird die erregende Stimmung des Gelb durch den Zusatz von Weiß zu dem ruhigeren Lustgefühl ermäßigt, das die Empfindung des reinen Sonnenlichtes begleitet, und das Grün verliert durch verminderte Sättigung von seinem ausgleichenden Charakter, indem sich ihm etwas von der erregenden Wirkung des Hellen beimengt. Dagegen nehmen alle Farben, die an und für sich einen ernsten Charakter besitzen, wie Rot, Violett, Blau, auch Grün, mit verminderter Lichtstärke an Ernst des Ausdrucks zu. Nur beim Gelb wirkt die Lichtabnahme vielmehr als ein Gegensatz zu der an und für sich dem weißen Licht verwandten Stimmung der Farbe. So enthält das dunkle Gelb und das ihm gleichende spektrale Orange einen Ton gedämpfter Erregung, der, wenn die Lichtabnahme noch weiter geht, im Braun schließlich einer neutralen Stimmung weicht. Dies ist wohl der Grund, weshalb wir neben dem gesättigten Grün, der einzigen eigentlichen Farbe von ähnlich neutraler Bedeutung, und dem Grau, das zwischen den Gegensätzen von Weiß und Schwarz in der Mitte liegt, noch das Braun als Farbe derjenigen Gegenstände wählen, die uns fortwährend umgeben. Aber unter diesen dreien nimmt die Indifferenz zu mit dem Verlust des entschiedenen Farbencharakters. Das Grün, obgleich mitten inne zwischen dem erregenden Gelb und dem beruhigenden Blau, entbehrt darum doch nicht des Ausdrucks, sondern in ihm wird eben jenes Gleichgewicht des

Gefühls zwischen Erregung und Ruhe selber zur Stimmung. Gleichgültiger ist schon das Braun, und völlig verloren gegangen ist der Gefühlscharakter der Farbenwelt in dem Grau. Braun und Grau wählen wir daher als Farben unserer Kleidung, unserer Tapeten und Möbel, so recht eigentlich in der Absicht nichts damit auszudrücken.

Wenn nun mehrere Farben nebeneinander auf das Auge einwirken, so bestimmt der wechselseitige Einfluß, den sie aufeinander ausüben, mit der Empfindung auch den Gefühlston der einzelnen Eindrücke. Wird durch den Kontrast die Farbe gehoben, so wird ihr Gefühlston verstärkt, und das entgegengesetzte tritt ein, wenn die Lichteindrücke sich schwächen[1]. Die beiden gegeneinander um 180° gedrehten Farbenkreise in Fig. 212 (S. 221) veranschaulichen daher auch diese Seite der Farbenwirkung, indem die wechselseitige Hebung für die zusammentreffenden Komplementärfarbenpaare am größten ist und sich mit dem Lageunterschied der einander induzierenden Farben vermindert. Analog dem Farben- wirkt der Helligkeitskontrast, der entweder mit dem ersteren sich verbinden oder aber verschiedene Helligkeitsstufen einer und derselben Lichtqualität in ihrem Eindruck verstärken kann[2].

Tritt uns auf diese Weise bei den Klang- und Lichteindrücken die unmittelbare Beziehung, welche die Qualität der Empfindung zu den Gefühlskomponenten, namentlich der Erregung und Beruhigung darbietet, wegen der ausgeprägten Beschaffenheit der Gefühle bei gleichzeitig mannigfaltiger Nuancierung derselben besonders auffällig entgegen, so kann man aber, von hier ausgehend, nicht verkennen, daß sie auch in den übrigen Sinnesgebieten nicht fehlt, sofern sich hier überhaupt der Gefühlston in den außerhalb der Lust-Unlustreihe liegenden Richtungen über den Indifferenzpunkt erhebt. So ist im Eindruck der Wärme die erregende, in dem der Kälte die deprimierende Stimmung deutlich genug, wie das ja auch schon die oben erwähnten metaphorischen Benennungen »warme« und »kalte« Farben zeigen, Übertragungen, die nach dem Inhalt der Empfindungen als solcher kaum verständlich sein würden, aus der Ähnlichkeit der Gefühlsstimmung aber ohne weiteres sich erklären. Nicht minder bemerken wir bei Gerüchen neben den hier freilich meist sehr überwiegenden Lust- oder Unlustbetonungen doch auch erregende oder, in selteneren Fällen, beruhigende Nebenwirkungen, die, von jener Beziehung zur Intensität der Eindrücke relativ freier, an die Qualität als solche gebunden sind. Danach darf man es wohl als einen Erfahrungssatz aussprechen, daß überall, wo in einem Empfindungssystem, ähnlich

[1] Über die Kontrasterscheinungen vgl. oben Kap. X, S. 218 ff.

[2] A. KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 7, 1892, S. 362 ff. J. COHN, ebend. Bd. 10, 1894, S. 562 ff. Vgl. hierzu die Erörterung der ästhetischen Elementargefühle in Abschn. IV.

wie bei den Tönen und Farben, größte qualitative Unterschiede als Endglieder einer reinen Qualitätsabstufung von Empfindungen vorkommen, solche Unterschiede mit entgegengesetzten Gefühlsbetonungen verbunden sind, die sich irgendwelchen Modifikationen der Grundformen der Erregung und Beruhigung einordnen; und wahrscheinlich ist es sogar erst dieser Gegensatz der begleitenden Gefühle, der jene Unterschiede der Empfindung zu Gegensätzen ausprägt. Ist es doch eigentlich nicht einzusehen, warum wir kalt und warm, hoch und tief, weiß und schwarz oder gar gelb und blau gerade als Gegensätze auffassen sollten, wenn sie uns lediglich als reine, völlig gefühlsfreie Empfindungen gegeben wären. Gewiß würden sie Unterschiede, und eventuell größte Unterschiede bedeuten. Aber zu Gegensätzen werden sie doch erst durch die starken Gefühlsgegensätze, die an sie geknüpft sind, und die, so abweichenden Empfindungssystemen die Gefühle angehören mögen, zumeist wieder auf jene Grundformen der erregenden Gefühle und ihres Gegensatzes zurückführen, die sich dann allerdings mit den mannigfaltigsten andern Gefühlskomponenten verbinden können. Wo aber die Empfindungen ganz oder nahezu unvermischt den Gefühlston der Lust, Unlust oder der neutralen Gleichgültigkeit an sich tragen, wie die Druck-, die Schmerz-, die Geschmacks- und viele Geruchsempfindungen, da fehlt eben auch jene Einordnung der Empfindungen in ein Kontinuum, die zur Abstufung zwischen größten, nach entgegengesetzten Richtungen liegenden Unterschieden der Qualität erforderlich ist.

Anders verhält sich endlich noch die dritte Dimension der Gefühle, die der Spannung und Lösung. Natürlich sind auch für ihre Entstehung, gerade so wie für die der Lust oder Unlust, die Qualitäten der Empfindung von wesentlicher Bedeutung. Aber sie sind es nicht in dem Sinne, daß sich ohne weiteres gewisse Empfindungen mit einem Spannungs-, andere, die demselben Empfindungskontinuum angehören, mit einem Lösungsgefühl verbänden. Vielmehr, wie der einer Empfindung anhaftende Lust- oder Unlustton immer erst unter der mitbestimmenden Wirkung der Empfindungsstärke zum Ausdruck kommt, so zwar, daß eventuell das gleiche Empfindungsquale je nach seiner Stärke von entgegengesetzter Gefühlsbetonung sein kann, gerade so kann ein und derselbe qualitative Inhalt der Empfindung ebensowohl Spannungs- wie Lösungsgefühle mit sich führen. Denn das für diese Gefühlskomponenten Bestimmende ist weder die Intensität noch die Qualität, sondern der zeitliche Verlauf der Empfindungen. Auf diese Weise kommt gerade in diesen eigentümlichen Gefühlsformen dritter Art die große Bedeutung zur Geltung, die das Moment der Zeit überhaupt für die Eigenschaften der Gefühle besitzt.

Die Analyse der Gefühlstöne der Klangempfindungen, besonders auch in ihren Beziehungen zu der ästhetischen Verwendung der Klänge, ist fast noch ganz eine Aufgabe der Zukunft. Noch ist z. B. kein Versuch gemacht, über die instinktiv wirkenden Gefühlsmotive zureichende Rechenschaft zu geben, infolge deren der Komponist für den Ausdruck gewisser Stimmungen bestimmte musikalische Instrumente wegen ihres eigentümlichen Klangcharakters bevorzugt, oder gar über den Wandel der Gefühle, der gewissen wechselnden Bevorzugungen zugrunde liegt. Auch hier ist es aber natürlich die Analyse der Empfindungen, die der Analyse der Gefühle den Weg zeigt. So vermögen wir die Gefühlswirkungen der einzelnen musikalischen Instrumente wohl einigermaßen aus den Gefühlselementen ihrer dominierenden Klangbestandteile, also der charakteristischen Obertöne, welche die Klangfärbungen bedingen, abzuleiten. Die eigentümlichen Klangfärbungen der Viola und Klarinette z. B. sind namentlich dadurch bestimmt, daß wegen der Dimensionen der Resonanzräume und Ansatzröhren die ungeradzahligen Partialtöne vorzugsweise stark sind. Bei den Saiteninstrumenten steht es dagegen zum Teil in der Willkür des Spielenden, welche Obertöne er stärker will anklingen lassen, da dies von der Stelle abhängt, an welcher die Saite angeschlagen oder gestrichen wird[1]. Werden durch die Art des Anschlags nur die geradzahligen Partialtöne hervorgehoben, so entsteht eine eigentümlich leere und klimpernde Klangfarbe. Leer erscheinen beide Arten von Klängen, die mit ungeradzahligen wie die mit geradzahligen Partialtönen, wenn man sie mit dem vollen, abgerundeten Klang solcher Instrumente vergleicht, die, wie z. B. die Zungenpfeifen der Orgel, alle Obertöne in einer mit ihrer Höhe abnehmenden Stärke hervorbringen; daher auch jene in ihrer Klangfarbe einseitigen Instrumente hauptsächlich in der Orchestermusik zur Anwendung kommen, wo sie in begleitenden Klängen anderer Färbung ihre Ergänzung finden. Nicht minder ungenügend erscheinen uns bei dauernder Einwirkung solche musikalische Klänge, denen alle Obertöne fehlen, die also dem reinen

[1] Wird z. B. eine Saite an der Stelle angeschlagen, wo ihr erstes Drittel in das zweite übergeht, so kann sich an dieser kein Schwingungsknoten bilden, es fällt daher der zweite Oberton, der je 3 Schwingungen auf eine des Grundtons hat, hinweg, und ebenso werden die höheren ungeradzahligen Partialtöne schwächer. Wird die Saite dagegen in ihrer Mitte angeschlagen, so fällt der erste Oberton, die Oktave des Grundtons hinweg, und die geradzahligen Partialtöne werden geschwächt. Wird die Saite nahe der Mitte angeschlagen, so klingen vorzugsweise die tiefsten Partialtöne mit, wird die Anschlagstelle möglichst an das Ende verlegt, so werden die hohen verstärkt. Bei den Streichinstrumenten sind darum die tiefen Partialtöne stärker, wenn man nahe dem Griffbrett, die hohen, wenn man nahe dem Stege streicht. Da im letzteren Fall zugleich die Klangstärke größer ist, so wird im allgemeinen für das Piano die erste, für das Forte die zweite Art des Bogenansatzes gewählt. Deshalb sind beim Forte der Violine die hohen Obertöne verhältnismäßig viel stärker, das Piano nähert sich mehr dem einfachen Ton ohne Klangfarbe. Am Klavier ist die Anschlagstelle des Hammers so gewählt, daß der siebente Partialton (oder sechste Oberton) hinwegfällt; außerdem sind bei diesem Instrument die tiefen Noten von stärkeren Obertönen begleitet als die hohen, weil bei den letzteren die Anschlagstelle des Hammers im Verhältnis zur ganzen Saitenlänge nicht so nahe an das Ende fällt. Bei den Streichinstrumenten ist die Stärke der Partialtöne endlich noch wesentlich von der Resonanz des Kastens abhängig, dessen Eigenton einem der tieferen Töne des Instruments entspricht. Bei den hohen Noten wird daher in diesem Fall hauptsächlich der Grundton durch die Resonanz verstärkt, bei den tiefsten Tönen werden mehr die Obertöne gehoben. (Vgl. ZAMMINER, Die Musik und die musikalischen Instrumente. 1855, S. 12, 36.)

Ton sich nähern, wie z. B. die der Labialpfeifen der Orgel, der Flöte. Sie eignen sich zwar durch ihre gleichmäßige Ruhe mehr als alle andern zur sinnlichen Grundlage einfacher Schönheit, aber es fehlt ihnen die Mannigfaltigkeit des Ausdrucks, die eine wesentliche Bedingung ästhetischer Wirkung ist. Jene ruhige Befriedigung des einfach Schönen kommt für uns vielmehr da erst zur vollen Geltung, wo sie sich aus dem Widerstreit mannigfacher Gemütsbewegungen entwickelt. Daher bei Instrumenten mit scharf ausgesprochener Klangfarbe das Solospiel seinen größten Erfolg dann erringt, wenn es ihm gelingt, die Klangfarbe zu überwinden, indem es dem widerstrebenden Werkzeug den einfachen Ton entlockt. Aber diese Wirkung verschwindet, wo, wie bei der Flöte, das Instrument von selbst und in unveränderlicher Weise die einfachen Töne hervorbringt. Die Alten scheinen in dieser Beziehung anders gefühlt zu haben als die Neueren: ihnen war die Flöte das preiswürdigste Instrument, uns gilt die Violine als die Königin der Instrumente. Bei ihr treffen alle Bedingungen zusammen, um sie zum Ausdrucksmittel der mannigfachsten Stimmungen zu befähigen: bedeutender Umfang der Tonhöhen, größte Abstufung der Klangstärke, verbunden mit der Möglichkeit, den Ton langsam oder rasch an- und abschwellen zu lassen, endlich die verschiedensten Schattierungen der Klangfärbung je nach Ort und Art des Anstrichs. Kein Instrument vermag daher so unmittelbar wie sie der Gemütsbewegung des Spielers zu folgen.

Das Eigentümliche der Klangwirkung liegt demnach überhaupt darin, daß in ihm die Stimmung, die mit dem Tone verbunden ist, bald dadurch gehoben wird, daß sich die nächsten Obertöne zum Grundton hinzugesellen, bald aber auch bei der Verbindung hoher Obertöne mit tiefen Grundtönen durch kontrastierende Elementargefühle modifiziert ist. Nimmt man dazu noch die von der abweichenden Tonstärke herrührenden Unterschiede, so ergibt sich eine Reihe sich durchkreuzender Gegensätze, die man sich durch das in Fig. 243 dargestellte Schema veranschaulichen kann. Jedem dieser Ton- und Klanggegensätze entsprechen Kontraste des Gefühls, die allmählich durch vermittelnde Zwischenstufen einem Indifferenzpunkt sich nähern, durch den sie ineinander übergehen: den tiefen Tönen und Klangfarben zur linken Seite die ernsten, den hohen zur rechten die heiteren Stimmungen. Bei größerer Klangstärke sind alle Stimmungen mit einem gehobenen, energischen, bei geringerer mit einem gedämpften, sanften Gefühlston verbunden. Da sich zwischen den hier herausgegriffenen Richtungen alle möglichen Übergänge denken lassen, so kann man sich vorstellen, alle durch die Klangfarbe bestimmten Gefühlstöne seien in einer Ebene angeordnet, deren eine Dimension, dem Kontinuum der einfachen Töne entsprechend, die Kontraste von Ernst und Heiterkeit mit ihren Übergangsstufen enthält, während die zweite, welche die Stärke der Teiltöne abmißt, die Gegensätze des Energischen und Sanften vermittelt. Wie auf solche Weise in die Gefühlswirkung der Klänge neben der Tonhöhe überall auch die Tonstärke eingreift, so lassen sich nun aber überhaupt diese Gegensätze nicht bloß *einer* Dimension des Gefühlskontinuums einordnen, sondern jedes einfache Gefühl enthält neben der erregenden oder beruhigenden noch eine Lust-Unlustkomponente von verschiedener Stärke, wie denn auch die sprachlichen Bezeichnungen heiter, sanft, ernst usw. im allgemeinen schon solchen gemischten Stimmungen entsprechen.

Die Reihe der *Farbenempfindungen* unterscheidet sich nun von der

Tonreihe wesentlich dadurch, daß sie, wie sie eine in sich zurückkehrende Linie bildet, so auch zwei Übergänge des Gefühlstones enthält, obzwar bei den Farben selbst, wie bei den Tönen, nur ein einziger Gegensatz der Stimmung existiert, die einerseits im Gelb, anderseits im Blau am stärksten ausgeprägt zu sein scheint: der Gegensatz der Lebhaftigkeit und der Ruhe, wie wir hier wohl am zutreffendsten die Kontraste nennen. Dabei ist es eigentümlich, daß wir uns gerade bei den Farben, bei denen doch die Bewegung oder zeitliche Dauer nicht in der Weise wie bei den Tönen für das Gefühl mitbestimmend wird, zu diesen von der Bewegung entliehenen Bezeichnungen gedrängt sehen. Zwischen dem Gelb und dem Blau gibt es aber zwei Über-

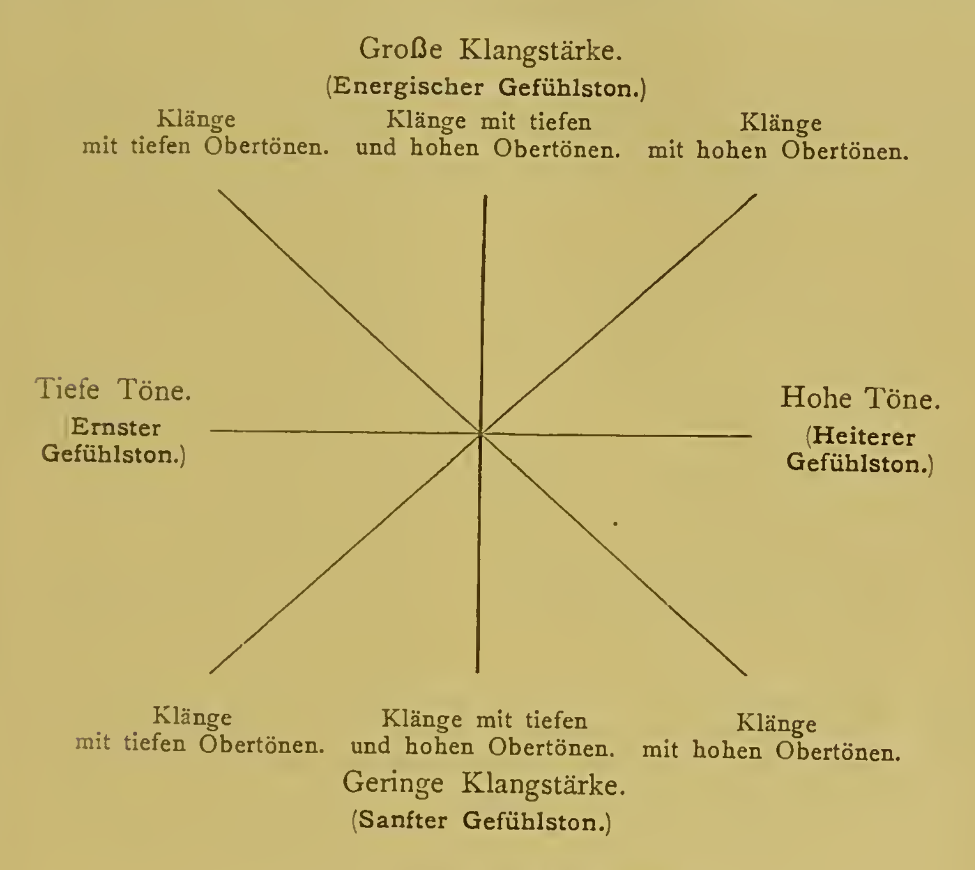


Fig. 243. System der Klanggefühle.

gänge: einen durch das Grün, den andern durch die rötlichen Farbentöne, das eigentliche Rot, Purpur und Violett. Beide Übergänge haben eine sehr verschiedene Bedeutung für das Gefühl. In dem Rot und den ihm verwandten Farben ist die Bewegung des Gelb und die Ruhe des Blau zu einem hin- und herwogenden Zustand der Unruhe geworden. Diese Vermittlung durch einen labilen, zwiespältigen Zustand ist am deutlichsten bei den blauroten Farbentönen, wie beim Violett. Das Grün dagegen drückt ein stabiles Gleichgewicht aus. Gegenüber dem tief beruhigenden Blau und dem lebhaft erregenden Gelb verbreitet es eine gedämpfte Erregung. Für den Gefühlston hat so der doppelte Übergang der Farbenreihe seine Bedeutung

darin, daß der eine, der durch die Mischfarbe des Purpur, die Gegensätze zu einem dissonierenden Gefühle mischt, der andere, der durch das einfache Grün sie in ein harmonisches Gleichgewicht setzt. So hat auch diese doppelte Ausgleichung in einer allgemeinen Eigentümlichkeit des Gefühls ihren Grund, die schon bei der Klangwirkung zur Geltung kommt: nämlich in der Existenz zwiespältiger oder dissonierender Gefühle. Zwischen je zwei Gegensätzen gibt es einen Indifferenzpunkt der Gleichgültigkeit; gewissen Gemütszuständen ist es aber eigen, daß in ihnen das Gefühl zwischen jenen Gegensätzen hin- und herschwankt. So geben unter den Klängen vorzugsweise jene einer zwiespältigen Stimmung Ausdruck, deren eigentümliche Klangfarbe auf dem Nebeneinander tiefer Grundtöne und hoher Obertöne beruht. Ähnlich verhält es sich mit den Farbeneindrücken. Demnach gibt es zwar auch bei den Farben nur ein einziges qualitatives Gegensatzpaar; aber da zwischen den Gliedern dieses Gegensatzes zwei Übergänge möglich sind, einer, der den Gegensatz in einem einfachen Zwischengefühl aufhebt, und ein zweiter, der ihn durch ein kontrastierendes Gefühl vermittelt, so kann die Reihe der einfachen Gefühle hier nicht mehr durch eine gerade Linie, sondern nur durch eine geschlossene Kurve dargestellt werden. Mit Rücksicht auf ihre Bedeutung als Übergangsstimmungen wird hierbei dem Grün angemessen das Violett gegenüberzustellen sein, und es werden dementsprechend Rot und Indigblau, Gelb und Blau einander gegenüberliegen; das Purpur hat in dieser Stimmungskurve der Farbentöne nur die Bedeutung eines Rot, das wenig durch Violett modifiziert ist. Um die verschiedene Weise des Übergangs von der Plus- zur Minusseite anzudeuten, wählen wir wieder die Darstellung in einer dem Dreieck sich nähernden Figur: die gerade Grundlinie entspricht dem kontrastierenden Übergang durch Violett, der an Stelle der Spitze gelegene Bogen dem ruhigen Übergang durch Grün (Fig. 244). Denken wir uns die den verminderten Sättigungsgraden der Farben bis zum Weiß entsprechenden Gefühle ähnlich angeordnet, so bilden sie alle zusammen die von der Farbenkurve umschlossene Ebene, in welcher der Punkt des Weiß die indifferente Stimmung bezeichnet. Rings herum liegen die matteren und darum durch kürzere Übergänge vermittelten Gefühlstöne der weißlichen Farben. Zu den Stimmungen, welche die Farben und ihre Sättigungsgrade hervorbringen, kommen dann noch die an die Intensitätsgrade des Lichts sich knüpfenden Gefühle. Zwischen den Gegensätzen des Hellen und Dunkeln, zwischen denen sie sich bewegen, gibt es nur den einen Übergang durch eine mittlere Helligkeit von völlig indifferenter Stimmung. Hier also liegen die gegensätzlichen Gefühle an den Enden einer Geraden. So bietet sich auch für die Gefühlstöne der Farben die Konstruktion in einem körperlichen Gebilde, an dem Hell und Dunkel die beiden Endpole bilden. Ein einfacher Übergang des Gefühls durch einen einzigen Indifferenzpunkt

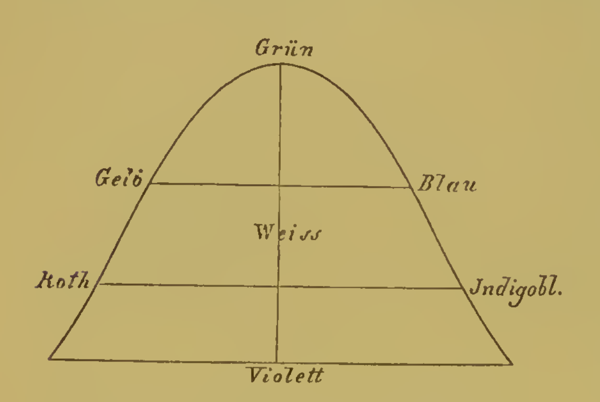


Fig. 244. System der Farbengefühle.

findet nur für die nicht von Farbentönen begleitete Lichtempfindung statt, die durch die Achse jenes körperlichen Gebildes dargestellt wird (vgl. Fig. 191, S. 167). Für jede Farbe gibt es also drei Übergänge der Stimmung zu einer Farbe von entgegengesetztem Gefühlston: der harmonische durch das ruhige Grün, der kontrastierende durch das zwiespältige Violett und der indifferente durch das gleichgültige Weiß. Zwischen den Gegensätzen der Helligkeit, dem ernsten Dunkel und dem heiteren Licht, die wieder in die Dimension der Lust-Unlustkomponenten hinüberreichen, gibt es dagegen nur den einen Übergang durch das indifferente Weiß von mittlerer Helligkeit. Indem die Lichtstärke der Farben zu- oder abnehmen kann, können nun diese auch an den Gefühlstönen der Helligkeit teilnehmen. Aber dabei vermindert sich in dem Maße als die Lichtstärke steigt oder sinkt der Umfang des innerhalb der Farbenreihe möglichen Stimmungswechsels, der harmonische und der kontrastierende Übergang rücken immer näher zusammen, bis mit der Erreichung des dunkeln oder hellen Pols der Empfindung das eigentliche Farbengefühl erlischt. Während sich demnach in der Ton- und Klangwelt alle Gefühle zwischen geradlinig gegenüberliegenden Gegensätzen bewegen, so daß selbst kontrastierende Gefühle nicht als Vermittelungen, sondern immer nur an einem Ende eines Gegensatzes zu finden sind[1], bilden bei den Lichtempfindungen nur das Helle und Dunkle ähnlich gegenüberstehende Pole, die aber, gemäß der doppelten Beziehung der Helligkeitsempfindungen zur Lichtintensität einerseits und zu den Farbenqualitäten anderseits, im allgemeinen zwei Gefühlskomponenten vereinigen: das Helle die Stimmungen der Lust und Erregung, das Dunkle die der Unlust und Beruhigung oder die Vereinigung beider, die Depression. Für das Gefühl sind so die Gegensätze der Intensität des farblosen Lichtes den Gegensätzen der hohen und tiefen Töne am nächsten verwandt; wogegen Stimmungen, die den Klangfarben einigermaßen analog sind, vielmehr durch die einfachen Farben ausgedrückt werden. Die Namen Klangfarbe und Farbenton deuten dies an; denn diese doppelte Übertragung zeigt, daß uns Klang und Farbe einander verwandt erscheinen. Auch darin besteht eine gewisse Analogie, daß man sich die Gefühlstöne der Klangfarben wie die der Farben und ihrer Sättigungsgrade in einer Ebene dargestellt denken kann, in deren Mitte irgendwo ein Indifferenzpunkt gleichgültiger oder neutraler Stimmung liegt, während sich nach der Peripherie hin die größten Gegensätze des Gefühls befinden. Aber die einfachen Töne bilden hier nicht, wie das Hell und Dunkel, eine neue Dimension, die erst zur Klangfläche hinzutritt, sondern die Hauptachse der letzteren. Denn der einfache Ton gehört zu jenen Klängen, die durch die größte Tiefe begleitender Obertöne sich auszeichnen: er bildet hier den Grenzfall, wo die Obertöne überhaupt verschwinden. Stärke und Schwäche des Klangs, Tiefe und Höhe des Tons bedingen so zunächst zwei Hauptpaare des Gegensatzes, die sich zu vier erweitern, wenn man die Hauptunterschiede der Klangfärbung, die Verbindung mit tiefen oder mit hohen Obertönen, in doppelter Lage hinzunimmt (Fig. 243). Denkt man sich die äußersten Punkte dieser Gegensätze durch eine geschlossene Kurve vereinigt, so ist von jedem Punkt derselben, ähnlich wie von jedem Punkt der Farben-

[1] Rechts unten in Fig. 243, bei den Klängen mit hohen Obertönen und von geringer Klangstärke.

kurve, ein dreifaches Fortschreiten möglich, vor- und rückwärts in der Peripherie der Klangkurve und gegen die Mitte hin. Die Stelle der kontrastierenden Gefühle liegt aber bei denjenigen Klängen, die hohe und mäßig hohe Obertöne mit geringer Klangstärke verbinden. Dies hat darin seinen Grund, daß sich bei geringer Klangstärke die den entgegengesetzten Enden der Tonreihe zugehörigen Teiltöne deutlicher voneinander sondern, und daß außerdem bei starken Klängen gleichsam die Unschlüssigkeit des Kontrastes durch die Kraft des Gefühlstones überwunden wird. Übrigens hat diese Darstellung der Klanggefühle, wie nicht übersehen werden darf, in höherem Grade eine bloß symbolische Bedeutung als die der Farbengefühle, weil sich die letztere unmittelbarer an das System der Empfindungen anschließt. Auch lassen solche Analogien des Gefühls natürlich nicht die geringsten Schlüsse über die physiologische oder gar die physikalische Natur der Farben und Klänge zu. Der Aristotelischen, von Goethe wieder erneuerten Farbenlehre, wonach die Farben aus der Vermischung von Hell und Dunkel in verschiedenen Verhältnissen entstehen sollen, lag wohl neben anderem auch eine derartige Verwechselung zugrunde. Für unser Gefühl ist in der Tat Hell und Dunkel das Einfachere, die Farbe das Zusammengesetztere, denn die Gefühle, welche die letztere wachruft, zeigen mannigfachere Übergänge zu Gefühlen von entgegengesetzter Beschaffenheit. Aber dies rührt eben von der eigentümlichen Form der Farbenkontinuums her, aus der jener dreifache Übergang der Farbenstimmung entspringt.

d. Zeitlicher Verlauf der einfachen Gefühle.

Mit dem unablässigen Kommen und Gehen aller Bewußtseinsinhalte verändern sich fortwährend die Gefühle. Dieser Gefühlswechsel ist aber dann unserer Beobachtung unter den einfachsten Bedingungen gegeben, wenn wir ihn in seiner Abhängigkeit von dem zeitlichen Wechsel einfacher Empfindungen ins Auge fassen. Denn hier sind jedenfalls auch die beobachteten Gefühle einfach und lassen sich demnach in der oben eingeführten Bedeutung des Wortes als »Gefühlstöne« der Empfindungen betrachten. Die unter diesem Gesichtspunkt der zeitlichen Dauer sich erhebende Frage lautet dann: wie ändert sich der Gefühlston mit der Zeit, während deren eine Empfindung gleichmäßig andauert, und welchen Einfluß hat umgekehrt der zeitliche Wechsel der Empfindungen auf den Gefühlston?

Nun muß zunächst jede Empfindung, wenn sie ein Gefühl von merklicher Größe hervorrufen soll, eine gewisse Zeit dauern. Diese Zeit ist bei starken Empfindungen kürzer als bei schwachen, und sie ist außerdem in wechselnder Weise von der Qualität abhängig. Anderseits verändert jede Empfindung bei längerer Einwirkung auf das Bewußtsein ihren Gefühlston. Insbesondere kann die Lust-Unlustkomponente dabei ganz dieselben Veränderungen erfahren, die auch die Steigerung der Intensität mit sich führt: der anfänglich lusterregende Eindruck wird zuerst

gleichgültig, dann unangenehm. Am deutlichsten lassen sich diese Übergänge wieder bei Geruchs- und Geschmacksreizen verfolgen, wo sie auch an den respiratorischen und vasomotorischen Symptomen manchmal auf das schönste zu verfolgen sind. Doch treten sie bei der gleichförmig dauernden Einwirkung von Farben, Tönen ebenfalls hervor. Diese Abhängigkeit der Lust-Unlustgefühle von der Zeit ließe sich also durch eine ähnliche Kurve wie die Beziehung zur Intensität versinnlichen (Fig. 242).

Nicht in gleicher Weise, jedenfalls nicht gleich ausgesprochen verhält es sich mit den Gefühlen der Erregung und Beruhigung. Zwar dem allgemeinen Wechsel der Gemütslage, dem sich kein Gefühl entzieht, sind auch sie unterworfen. Namentlich die erregenden Gefühle sind selten von langer Dauer, oder, wo dies vorkommt, da finden sich mindestens Perioden der Remission zwischen den einzelnen Erregungsphasen. Länger können die beruhigenden Gefühle anhalten; aber die dann und wann eintretende Unterbrechung durch Pausen der Gleichgültigkeit ist doch auch in diesem Fall nicht zu verkennen. Zudem entstehen solche dauernde Stimmungen weniger infolge der Wirkung äußerer Eindrücke, als aus inneren, in der ganzen Disposition des Bewußtseins liegenden Bedingungen, so daß diese Erscheinungen bereits in das Gebiet der zusammengesetzten Gefühle und Stimmungen hinüberführen. Allgemein läßt sich daher bei diesen Gefühlskomponenten nur konstatieren, daß die längere zeitliche Dauer mit Abstumpfung des Gefühls verbunden ist, ebenso wie die dauernde Empfindung mit Ermüdung, nicht aber daß sie, wie bei den Lust-Unlustkomponenten, irgendwie regelmäßig einen Übergang in die entgegengesetzte Gefühlsphase mit sich bringt.

Hier stellt sich nun beiden Gefühlsdimensionen die dritte, die der Spannungs- und Lösungsgefühle als eine in ihrem Verhalten zu dem zeitlichen Ablauf der Empfindungen durchaus eigenartige gegenüber. Dies hängt augenscheinlich mit der spezifischen Natur dieser Gefühle zusammen, die auch den Begriff des »Gefühlstones« nicht in dem Sinne, den er bei den andern Gefühlskomponenten besitzt, auf sie anwendbar macht. Daß ein Spannungs- oder ein Lösungsgefühl an irgendeine einzelne Empfindung auch nur in annähernd regelmäßiger Weise gebunden wäre, wie etwa an den bitteren Geschmack des Chinin die Unlust oder an den Farbeneindruck des Rot die Erregung, davon kann überhaupt nicht die Rede sein. Nicht als ob jene Gefühle empfindungsfrei wären: das sind sie in Wahrheit ebensowenig wie irgendwelche andere Gefühle. Aber die begleitenden Empfindungen verhalten sich schon darin eigenartig, daß sie einem ganz bestimmten Sinnesgebiet, dem der inneren Tastempfindungen (S. 24) angehören, wobei diese übrigens außerdem, wie

alle andern Empfindungen, die Substrate von Lust- und Unlust-, von erregenden und deprimierenden Gefühlen sein können. Während diese aber durchaus zur Gefühlsbetonung der Empfindungen, ganz in der auch sonst für die Beziehung zwischen Empfindung und Gefühl geltenden Bedeutung gehören, verhält sich das wesentlich anders bei Spannung und Lösung: hier erscheint nicht das Gefühl als eine Wirkung, die einer bestimmten Empfindung anhaftet, sondern Empfindung und Gefühl sind vollkommen koordinierte Erscheinungen eines bestimmten seelischen Vorgangs, nämlich jenes Vorgangs der Apperzeption, den wir als maßgebend bei jeder Auffassung und Vergleichung von Empfindungen kennen lernten. (Vgl. Bd. 1, S. 381, 633.) Die Spannungsgefühle und die Spannungsempfindungen sind die unmittelbaren Bewußtseinsinhalte, die diesen Vorgang oder Zustand kennzeichnen. Dabei ist aber das Gefühl wieder der für denselben vorzugsweise charakteristische, wesentlichere. Denn wenn auch die Spannung und Entspannung der Aufmerksamkeit niemals ohne die entsprechenden, namentlich in den Muskelgebieten der Sinnesorgane auftretenden Spannungsempfindungen vorkommt, so ist doch das Verhältnis der Gefühle zu den Empfindungen in diesem Fall in höchst augenfälliger Weise dadurch gekennzeichnet, daß es einen Apperzeptionsakt ohne Spannungsgefühle überhaupt nicht gibt, daß aber Spannungsempfindungen, die ganz und gar den bei jenem Akt beobachteten gleichen, auch ohne ihn infolge sonstiger Bewegungs- oder Spannungszustände der betreffenden Muskeln vorkommen können. Darum sind uns die Spannungsgefühle die primären subjektiven Symptome jener Bewußtseinszustände, die wir eben nach dieser ihrer subjektiven Seite als »Aufmerksamkeitszustände« bezeichnen, und deren psychische Erfolge in der Apperzeption, d. h. nach der früher (Bd. 1, S. 381) gegebenen elementaren Definition dieses Begriffs, in dem »Klarerwerden« irgend eines Bewußtseinsinhaltes unter gleichzeitiger Hemmung anderer Inhalte besteht. Sekundäre Begleiterscheinungen dieser Zustände sind dann erst die Spannungsempfindungen. Sie sind aber nicht sekundär in dem Sinne, daß sie etwa erst nachträglich, nachdem die Spannungsgefühle schon da sind, zur Beobachtung kämen, sondern in dem andern, daß sie zwar ebenfalls regelmäßige Komponenten der sogenannten Aufmerksamkeit sind, daß sie aber nicht ausschließlich als solche Komponenten, sondern auch noch bei mannigfachen andern Gelegenheiten, die zu Muskelspannungen Anlaß geben, vorkommen. Es braucht kaum noch besonders darauf hingewiesen zu werden, wie sich aus diesem Verhältnis die Tatsache erklärt, daß man gerade die Spannungsgefühle so lang übersehen hat, indem man sie eben vollständig in den Spannungsempfindungen aufgehen ließ. Daß das falsch ist, ergibt

sich jedoch zwingend aus der Analyse der Aufmerksamkeitsvorgänge, besonders wenn man die Eindrucks- und die Ausdrucksmethode gleichzeitig zu Hilfe nimmt. Der Eindruck, der einen Aufmerksamkeitsvorgang auslöst, hat nach seiner unmittelbaren subjektiven Beschaffenheit wie nach seinen Wirkungen einen ganz andern Charakter als ein Eindruck, der bloß Spannungsempfindungen auslöst. Nicht nur fehlt im letzteren Fall das subjektive Gefühl, das wir eben »Aufmerksamkeit« zu nennen pflegen, sondern es fehlt auch durchaus jene Elementarwirkung, die in dem »Klarerwerden« eines Bewußtseinsinhaltes ihr spezifisches, von Intensitäts- und Qualitätsänderungen der Empfindung wesentlich abweichendes Merkmal hat. Aber auch die objektiven respiratorischen und vasomotorischen Erscheinungen, die für die Aufmerksamkeitsvorgänge so überaus kennzeichnend sind, fehlen bei solchen reinen Spannungsempfindungen. Freilich ist dabei nicht zu vergessen, daß Aufmerksamkeitsprozesse sehr leicht durch Sinneseindrücke irgendwelcher Art ausgelöst werden, weil ja die Apperzeption der Empfindung kein Vorgang ist, den wir in der Wirklichkeit irgendwie willkürlich von der Empfindung trennen können. In dem von selbst sich bietenden Wechsel der Bewegungen und Stellungen unseres Körpers bieten sich jedoch Fälle für sich allein bestehender Spannungsempfindungen nicht selten der Beobachtung.

Nach allem dem ist hier das Verhältnis zwischen Gefühl und Empfindung gewissermaßen das umgekehrte wie bei den andern Gefühlskomponenten. Sind dort die Gefühle an die Empfindungen, so sind in diesem Fall vielmehr die Empfindungen an die Gefühle gebunden, sofern wir trotz der Gleichzeitigkeit die Gefühle und nicht die Empfindungen hier als die spezifischen, für die Aufmerksamkeitsvorgänge charakteristischen Elemente ansehen müssen. Da aber beide gerade bei der Apperzeption nie getrennt voneinander vorkommen, so bilden sie auch in dieser ihrer engen Verbindung für uns ein unmittelbares Maß jener Prozesse, und der Bewußtseinsinhalt, den wir bei dem Wort »Spannung der Aufmerksamkeit« meinen, ist, psychologisch in seine Elemente zergliedert, eben immer beides zugleich: ein Spannungsgefühl und eine dieses Gefühl begleitende Spannungsempfindung.

So haben denn auch die beiden gegensätzlichen Gefühle der Spannung und Lösung ihre objektiven Äquivalente in den Empfindungen der eintretenden und dauernden Muskelspannung und ihrer Lösung. Gerade bei der Lösung tritt aber wiederum deutlich zutage, daß der Gefühlsprozeß ein spezifischer, von der Empfindung wesentlich verschiedener ist. Während die Empfindungsseite des Vorgangs lediglich in dem Nachlassen der zuvor vorhandenen positiven Spannungsempfindung besteht, ist das Lösungsgefühl ein höchst ausgeprägter positiver Gefühlszustand, wie er

sich denn auch schon bei einfachen Versuchsbedingungen in sehr entschiedenen respiratorischen und vasomotorischen Symptomen zu erkennen gibt (S. 302 ff.). Doch sind es hauptsächlich die etwas zusammengesetzteren Aufmerksamkeitsakte, die zugleich einen geschlossenen Umkreis intellektueller Prozesse umfassen, bei denen Spannung und Lösung als kontrastierende Vorgänge einander ablösen. Einfache Empfindungsreize, die vorübergehend die Aufmerksamkeit erregen, pflegen zwar subjektiv wie objektiv deutlich die Spannungssymptome auszulösen; doch können diese auch ohne einen merklichen Übergang in die entgegengesetzte Phase wieder schwinden. Anderseits ist aber zu bemerken, daß selbst da, wo besondere, durch bestimmte objektive Eindrücke verursachte Apperzeptionsprozesse nicht vorliegen, doch die allgemeine Disposition der Aufmerksamkeit einem fortwährenden Wechsel unterworfen ist, der gerade dann sehr regelmäßig vor sich zu gehen pflegt, wenn besondere, in bestimmten objektiven Momenten begründete Erregungen fehlen. Diese »Schwankungen der Aufmerksamkeit«, die wir später als ein reguläres Bewußtseinsphänomen bei relativ gleichförmig andauernden Bewußtseinszuständen kennen lernen werden, sind zugleich mit fortwährenden Oszillationen der Spannungs- und Lösungsgefühle und der sie begleitenden Empfindungen verbunden, Oszillationen, die auch in den physischen Symptomen, namentlich den respiratorischen, deutlich sich aussprechen[1].

Diese Beobachtungen zeigen, daß die Spannungs- und Lösungsgefühle gegenüber den andern Komponenten insofern eine abweichende Stellung einnehmen, als sie an den zentraleren Bestandteil jener einfachen Bewußtseinsvorgänge gebunden sind, deren subjektive Komplemente die einfachen Gefühle bilden. Während die andern Komponenten wesentlich an Intensität und Qualität der Bewußtseinsinhalte geknüpft und daher zunächst und vor allem mit diesen veränderlich sind, bilden die Spannungs- und Lösungsgefühle Bestandteile der Apperzeption jener Inhalte oder des Aufmerksamkeitsfaktors, der stets in sie eingehen muß, wenn sie überhaupt merklich sein sollen. Dabei ist aber wiederum zu bedenken, daß dieser Aufmerksamkeitsfaktor kein von den übrigen Bestandteilen zu sonderndes Gebilde ist, sondern immer in das Ganze des Erlebnisses eingeht. In diesem Sinne haben uns ja bereits die aus Anlaß des WEBERschen Gesetzes gemachten Erfahrungen gelehrt, daß es für uns nur apperzipierte Empfindungen gibt, und daß wir höchstens nachträglich imstande sind, mittels der wechselnden Bedingungen, die wir der Auffassung und Vergleichung der Empfindungen stellen, Rückschlüsse auf

[1] MEUMANN und ZONEFF, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 51. Über die Schwankungen der Aufmerksamkeit vgl. unten Abschn. V.

das Verhalten der reinen Empfindungen als solcher, nach Abstraktion von jenen immer mit ihnen verbundenen Bedingungen ihrer Apperzeption zu machen. (Vgl. Bd. 1, S. 543.) So ist es denn auch wohl begreiflich, daß uns im Gebiet der Gefühle wiederum eine ähnliche Sonderung der Faktoren des Geschehens begegnet, indem sich die allgemeinen Gefühlskomponenten in solche zerlegen, für die in erster Linie der Bewußtseinsinhalt selbst, in den einfachsten Fällen also die Empfindung nach ihrer Intensität und Qualität, und in andere, für welche die Apperzeption dieses Inhalts von entscheidender Bedeutung ist. Da aber Apperzeption und Aufmerksamkeit zeitlich sich entwickelnde Vorgänge sind, die zugleich in einer bestimmten zeitlichen Folge wechseln, indem jede Lösung eine vorangegangene Spannung fordert, und eine neue Spannung wiederum nur auf Grund vorangegangener Lösungen einsetzt, so sind diese Gefühlskomponenten enger als die übrigen an den zeitlichen Ablauf der Bewußtseinsvorgänge gebunden.

e. Das Kontrastprinzip der Gefühle.

Wir haben es in dem Vorangegangenen als eine wesentliche Eigentümlichkeit der Gefühle kennen gelernt, daß sie sich zwischen Gegensätzen bewegen. Schon in der allgemeinen symbolischen Darstellung des Gefühlskontinuums hat dies seinen Ausdruck gefunden; und bei der Analyse der einfachen Gefühle nach den allgemeinen Bedingungen ihrer Abhängigkeit von der Intensität, der Qualität und der Apperzeption der Empfindungen ist uns immer und immer wieder diese Eigenschaft entgegengetreten, wobei sie zugleich in jedem dieser Fälle mit einer andern Seite des Gefühls in Beziehung stand. Zeigte die Lust-Unlustkomponente ein Oszillieren, das, bei großen Abweichungen im einzelnen, sich durchgängig als eine Funktion der Empfindungsstärke erwies, so bot die Erregungs- und Beruhigungskomponente eine in erster Linie von der Empfindungsqualität ausgehende Funktionsbeziehung, die sich wiederum in bestimmten Gefühlsgegensätzen bewegte, welche an größere oder größte Unterschiede der Empfindung geknüpft waren. Endlich die Spannungs- und Lösungskomponente bot einen analogen Gegensatz abermals in neuer Form, indem sich hier die Auffassung der Eindrücke und der mit dieser zusammenhängende zeitliche Verlauf der Bewußtseinsvorgänge von auf- und abwogenden Gefühlen bestimmt zeigte, deren Gegensätze mit bestimmt unterschiedenen allgemeinen Bewußtseinsvorgängen verknüpft waren: der eine, die Spannung, mit den Akten der sich vorbereitenden und vollziehenden Apperzeption der Empfindungen, der andere, die Lösung, mit der Vollendung dieses Vorganges.

Dieses Schweben zwischen Gegensätzen erscheint demnach als ein den Gefühlen als solchen eigentümliches Geschehen, das mit andern, außerhalb der Gefühlserlebnisse liegenden Tatsachen, die sonst noch mit dem Namen »Kontrast« belegt zu werden pflegen, offenbar unvergleichbar ist. Letzteres tritt schon darin hervor, daß, wo wir etwa auf die objektiven Inhalte des Bewußtseins jenen Ausdruck anwenden, alle Wahrscheinlichkeit dafür spricht, daß er in solchen Fällen auf der Gefühlsseite der Erscheinungen seinen Ursprung genommen habe. Wir können dies speziell im Hinblick auf die einfachsten Bewußtseinsinhalte, die Empfindungen, wie oben schon angedeutet, in dem Satze ausdrücken: für die Empfindung gibt es nur Unterschiede und in gewissen Grenzfällen größte Unterschiede; zu Gegensätzen werden diese Unterschiede immer erst durch die begleitenden Gefühle oder mittelbar dadurch, daß wir die im Gefühl erlebten gegensätzlichen Stimmungen auf sie übertragen. Am offenkundigsten ist dieses Verhältnis bei der Intensität der Empfindung. Niemand kann zweifeln, daß ein starker und ein schwacher Schall an sich nur Unterschiede sind, zu deren Auffassung als Gegensätze weder in der Beschaffenheit der objektiven Reize, noch in der reinen Empfindung als solcher irgendein Grund vorliegt. Erst der Gefühlston stempelt diese Unterschiede zu Gegensätzen. Aber auch bei der Qualität der Empfindung ist dies nicht wesentlich anders. Ein hoher und ein tiefer Ton, die Farbe Blau gegenüber der Farbe Rot bezeichnen Unterschiede, die größer sind als die der zwischenliegenden Töne oder Farben. Auch das Schwarz und das Weiß sind, so lange wir sie als reine Empfindungen oder als gleichgültige Eigenschaften äußerer Objekte betrachten, nichts anderes als größte Unterschiede. Denn der Begriff des Gegensatzes im eigentlichen Sinne setzt zunächst als formales Merkmal voraus, daß man vom einen Glied des Gegensatzes durch eine Reihe sich vermindernder Grade zuerst zu einem Nullpunkt und dann von diesem aus wieder durch eine Reihe zunehmender Grade zu dem andern Glied des Gegensatzes gelangt. Zu diesem muß dann noch das reale Merkmal hinzutreten, daß die auf solche Weise durch einen Null- oder Indifferenzpunkt verbundenen Reihen auch inhaltlich unmittelbar als Gegensätze aufgefaßt werden. Weder jenes formale noch dieses reale Merkmal trifft aber bei den reinen Empfindungen jemals zu. Dunkel und hell, hohe und tiefe Töne, komplementäre Farben gehen durch kontinuierliche Zwischenstufen, nirgends durch einen Null- oder Indifferenzpunkt ineinander über. Selbst wenn man von einer gegebenen Farbe zu ihrer Gegenfarbe nicht in der reinen Farbenlinie, sondern durch die ab- und zunehmenden Sättigungsstufen und das Weiß geht, so sind das vom Standpunkt der bloßen Empfin-

dung aus lediglich qualitative Differenzen, nicht Gegensätze. Wer dunkel und hell, hoch und tief, blau und rot u. dergl. etwa unmittelbar als Gegensätze zu empfinden glaubt, der überträgt eben die Gefühlskontraste auf Empfindungen und mittels dieser auf die äußeren Objekte. Auch wo sich bei den Empfindungen sogenannte »Kontrasterscheinungen« in der Weise geltend machen, daß eine Empfindung eine bestimmte andere erweckt, die wir dann ihre Kontrastempfindung nennen, wie beim Farbenkontrast der grüne den roten Eindruck und umgekehrt, da handelt es sich im eigentlichen Sinne nur um größte Unterschiede, nicht um Gegensätze nach den formalen und realen Kriterien dieses Begriffs.

So führen denn diese Erwägungen zu dem allgemeinen Ergebnis, daß der Kontrast, soweit er zunächst in unserer psychologischen und dann in unserer allgemeinen Erfahrung eine Rolle spielt, sein eigentliches und ursprüngliches Heimatsrecht nur im Bereich der Gefühle hat, und daß er überall, wo er sonst noch Verwendung findet, aus diesem seinem ursprünglichen Gebiet erst sei es absichtlich sei es unabsichtlich übertragen worden ist. Die Neigung zu dieser allerorten sich einstellenden Umwandlung größter oder auch nur großer Unterschiede in Gegensätze ist auf diese Weise selbst ein überaus sprechendes Zeugnis für die innigen Verbindungen, welche die Gefühle mit den sonstigen Bewußtseinsinhalten eingehen.

Neben dem hier dargelegten »Kontrastprinzip der Gefühle«, das lediglich die Tatsache ausdrückt, daß zu jeder Grundform derselben eine andere von entgegengesetzter Qualität vorkommt, gibt es noch verschiedene Anwendungen dieses Prinzips, denen man die Bedeutung von »Gesetzen« des Gefühlslebens beizulegen pflegt. Nach der einen dieser Anwendungen soll ein Gefühl von bestimmter Richtung, z. B. ein Unlustgefühl, die allgemeine »Tendenz« besitzen, in ein Gefühl der entgegengesetzten Richtung, z. B. in ein Lustgefühl, überzugehen. Doch ist dieses »Gesetz« von zweifelhafter Geltung und zahlreiche Erscheinungen widersprechen ihm. So haben die deprimierenden und unlustvollen Stimmungen des Melancholikers durchaus nicht die Tendenz Lustgefühlen zu weichen; ebensowenig wie die Lustgefühle, die man in den Zuständen psychischer Paralyse beobachtet, die Neigung zeigen in Unlust überzugehen. Nicht das Gefühl, sondern die psychophysische Anlage des Menschen ist es, die in solchen Fällen eine »Tendenz« in sich schließt. Wie aber diese hier darin bestehen kann, bei gewissen einseitigen Gefühlen zu beharren, so kann sie wohl auch einmal auf einen raschen Wechsel zwischen entgegengesetzten Stimmungen gerichtet sein. Ob das eine oder das andere häufiger vorkommt, läßt sich schwerlich mit Sicherheit feststellen. Dennoch ist es nicht unwahrscheinlich, daß gewisse, in ihrer beschränkten Sphäre richtige Beobachtungen zu jenem in dieser Allgemeinheit falschen Kontrastgesetz geführt haben. Es gibt nämlich allerdings Gefühle, die im normalen Verlauf der seelischen Vorgänge in Gefühle der entgegengesetzten Richtung übergehen. Das tun sie dann freilich nicht, weil sie selbst eine »Tendenz« zu diesem Gegensatz in

sich tragen, sondern weil eben der psychische Verlauf es so mit sich bringt. Das augenfälligste Beispiel dieser Art bilden die Spannungs- und Lösungsgefühle. Wenn man eine einfache Rechenaufgabe löst, so entsteht während dieser Arbeit ein Spannungsgefühl, das dann nach Erledigung der Aufgabe in das entgegengesetzte Gefühl, das der Lösung, übergeht. Eventuell kann sich auch mit dem ersteren noch ein Unlust-, mit dem letzteren ein Lustgefühl verbinden, so daß sich nun der Verlauf zwischen zwei Gegensätzen zugleich abspielt. Ähnlich bringt, wie wir später sehen werden, der normale Verlauf eines einfachen Willensvorgangs eine Aufeinanderfolge entgegengesetzter Gefühlsphasen mit sich[1]. Das sind Erscheinungen, die in der Beschaffenheit gewisser zusammengesetzter seelischer Vorgänge, nicht in der ursprünglichen Natur der einfachen Gefühle ihren Grund haben.

Von größerer Bedeutung ist zweifellos ein anderes Kontrastgesetz, wonach entgegengesetzte Gefühle einander verstärken. Die für dasselbe geltend gemachten physiologischen Gesichtspunkte sind allerdings, wie W. Wirth[2] mit Recht bemerkt hat, zumeist verfehlt, weil sie teils von falschen Analogien, teils von zweifelhaften psychophysischen Hypothesen über die Natur der Gefühle ausgehen, statt vor allem unbefangen die Tatsachen zu prüfen. Eine solche Prüfung zeigt nun, daß zweifellos bei der Verbindung der Gefühle zu Affekten dem Prinzip der Kontrastverstärkung eine wichtige Bedeutung zukommt. So verstärken sich unverkennbar das Gefühl der Spannung bei der Erwartung und das ihrer Lösung durch die erfüllte Erwartung, wenn sich diese Gefühle rasch und mehrmals nacheinander ablösen, wie wir das beim Spiel in allen seinen Formen vom einfachen Würfelspiel an bis zum Drama beobachten. Ähnlich verhält es sich mit andern, besonders in die Gebiete der höheren ästhetischen, ethischen und religiösen Affekte hereinreichenden Gefühlen[3]. Sind es auch hier überall im allgemeinen erst die Affekte, an denen sich die Kontrastverstärkung beobachten läßt, so werden wir doch kaum zweifeln können, daß sie schon in den Gefühlen fundiert sind, da sich die Affekte wesentlich aus diesen zusammensetzen. Nur wo gewisse kontrastierende Gefühle sehr allmählich oder gar durch ein Zwischenstadium getrennt einander folgen, wird eine Kontrastverstärkung zweifelhaft bleiben müssen, weil, wie das gerade das Beispiel des Spiels zeigt, die unmittelbare Aufeinanderfolge der kontrastierenden Affekte offenbar bei dieser Verstärkung eine wesentliche Rolle spielt. So ist es z. B. wahrscheinlich, daß das lustvoll erhöhte Lebensgefühl des Rekonvaleszenten hinreichend durch die unmittelbar vorhandenen körperlichen Zustände verursacht wird, ohne daß es dazu auch noch des Kontrastes zu dem vorangegangenen Krankheitsgefühl bedürfte. Immerhin ist auch hier eine Mitwirkung der Kontrastverstärkung um so weniger ausgeschlossen, als reproduktive Wirkungen vorangegangener Vorgänge auf nachfolgende auch in andern Beziehungen, bald als Assimilationen bald als Hemmungen oder Kontraste vorkommen; und wer jemals in einer akuten Krankheit einen raschen Übergang durch die Krisis in die Rekonvaleszenz mit dem in diesem Fall der letzteren in besonders hohem Grad eigenen Wohlgefühl erlebt hat, der wird wohl die Möglichkeit

---

[1] Vgl. unten Abschn. IV.
[2] W. Wirth, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 18, 1898, S. 74 ff.
[3] Vgl. Abschn. IV, Kap. XVI.

zugeben, daß auch hier die Steigerung durch den Kontrast ein mitwirkender Faktor ist. Freilich handelt es sich dabei nicht um eine »Vergleichung«, ebensowenig wie etwa die Freude des gewinnenden Spielers durch einen intellektuellen Vorgang der Vergleichung mit der vorangegangenen peinvollen Erwartung gesteigert wird, sondern, wie bei jeder Kontrasterregung um die unmittelbare Einwirkung eines Gefühls auf das andere, ganz entsprechend den Gesetzen der Assimilationswirkungen, unter denen, wie wir weiter unten sehen werden, der Kontrast einen spezifischen Grenzfall bildet[1].

4. Verbindungen der einfachen Gefühle.

a. Partialgefühle und Totalgefühle.

Von Philosophen wie Psychologen pflegt die Dunkelheit des Gefühls als eine besondere, es namentlich von allen intellektuellen Bewußtseinsinhalten unterscheidende Eigenschaft angesehen zu werden. HEGEL hat dem in seiner bekannten Definition, Gefühl sei »das dumpfe Weben des Geistes in sich«, insofern einen sprechenden Ausdruck gegeben, als hier die Definition selbst ein vortreffliches Bild undurchdringlicher Dunkelheit ist. Wenn es aber irgend etwas gibt, was diese Dunkelheit oder, wie wir es vielleicht exakter ausdrücken können, diese Schwierigkeit und oft Unmöglichkeit einer Analyse des Gefühls psychologisch verständlich macht, so ist das eine Eigenschaft, von der in der bisherigen Betrachtung geflissentlich abstrahiert wurde, und auf die in diesem von den Gefühlselementen handelnden Kapitel überhaupt nur insoweit eingegangen werden soll, als es zur allgemeinen Charakterisierung der Gefühle unerläßlich scheint. Diese Eigenschaft besteht darin, daß alle in einem gegebenen Moment im Bewußtsein vorhandenen Gefühlselemente sich zu einer einheitlichen Gefühlsresultante verbinden. Zwar pflegen sich innerhalb eines bestimmten Sinnesgebiets die gleichzeitig gegebenen Empfindungen ebenfalls mehr oder minder fest zu einem Ganzen zu vereinigen: so die gleichzeitigen Klänge zu einem Zusammenklang, die gleichzeitigen Lichteindrücke entweder zu einer einzigen gegenständlichen Vorstellung oder mindestens zu einer Anzahl räumlich verbundener Objektsvorstellungen, usw. Aber ein Tast- und ein Gesichtseindruck, ein gesehener Gegenstand und ein gehörter Klang können relativ unabhängig in unserem Bewußtsein nebeneinander bestehen, wenn sie auch, wie wir sehen werden, nur dann annähernd mit gleicher Deutlichkeit apperzipiert werden, wenn sie sich zu einer einheitlichen Objektsvorstellung vereinigen. Doch dabei kommt immer schon jener

[1] Vgl. unten Kap. XIV, 3, c, und Abschn. V, Kap. XVIII.

auf das engste an die Apperzeption gebundene Gefühlsprozeß zur Geltung, dem wir oben bei den Spannungs- und Lösungsgefühlen begegnet sind[1]. Von dieser, selbst wohl mit den Gefühlsprozessen zusammenhängenden unifizierenden Natur der Aufmerksamkeit abgesehen, scheint daher das Bewußtsein nach seiner Vorstellungsseite in jedem Augenblick von einer Mannigfaltigkeit disparater Inhalte erfüllt zu sein, die eben nur deshalb in letzter Instanz wieder zusammenhängen, weil jeder irgendeinen Grad von Gefühlsbetonung mit sich zu führen pflegt, durch die er sich jenem Prinzip der Verbindung der Gefühlselemente unterordnet.

Nach diesem Prinzip, das wir hiernach als das Prinzip der Einheit der Gemütslage bezeichnen können, bestehen niemals mehrere Vorstellungsbestandteile, mögen sie als solche noch so disparat und unabhängig sein, nebeneinander, ohne daß sich ihre Gefühlselemente zu einem resultierenden Gefühl verbinden. Man erkennt unschwer, daß dieses Prinzip der Einheit der Gemütslage unmittelbar mit jener Grundeigenschaft der Gefühle zusammenhängt, wonach diese, so verschieden ihr Ursprung und ihre Vorstellungsbeziehungen sein mögen, stets einem und demselben Gefühlskontinuum angehören. Wie jene dreidimensionale, in sich stetig zusammenhängende Mannigfaltigkeit die Ordnung und Wechselbeziehung der einfachen Gefühle zu einer durchaus einheitlichen macht, im Gegensatze zu den disparaten Systemen der Empfindungen, so ermöglicht sie demnach auch wiederum die ein Korrelat zu diesen Wechselbeziehungen bildende Eigenschaft eines jeden Gefühls, sich mit den gleichzeitig vorhandenen anderweitigen Gefühlen zu einer einheitlichen Gefühlsresultante zusammenzuschließen. Nicht als ob diese neue Eigenschaft aus jener Bedingung der elementaren Ordnung ohne weiteres entspränge. An sich würde es ja durchaus nicht undenkbar sein, daß die Elemente des einheitlichen Gefühlskontinuums, insofern sie verschiedene Stellen in diesem einnehmen, auch im Bewußtsein eine Sonderexistenz führen könnten. Wohl aber wird man umgekehrt sagen dürfen, ohne diesen Zusammenhang in einem einheitlichen Kontinuum, der eben die allgemeine Verwandtschaft der elementaren Gefühle trotz ihres noch so verschiedenartigen Ursprungs zum Ausdruck bringt, würde jenes Prinzip der Einheit der Gefühlsresultante nicht möglich sein.

Weiterhin lehrt nun aber die psychologische Beobachtung, daß die auf solche Weise gemäß dem Prinzip der Einheit sich verbindenden einfachen Gefühle wechelweise jedes einzelne durch die andern, und daß sie alle durch ihre gemeinsame Resultante modifiziert werden. Das haupt-

[1] Vgl. oben S. 296 f., und hinsichtlich der Eigenschaften der Apperzeptionsvorgänge unten Abschn. V.

sächlich Charakteristische dabei ist, daß die einzelnen einfachen Gefühle entweder überhaupt nicht mehr als gesonderte Bestandteile des Ganzen unterschieden werden, sondern nur zu der eigentümlichen Gefühlsfärbung des letzteren mit beitragen, teils wenigstens gegenüber dem Gesamteindruck zurücktreten, so daß sie zwar in andern Gefühlskomplexen als die nämlichen Elemente wiedererkannt werden können, jedoch jedesmal durch die begleitenden Elemente eine andere Färbung empfangen und sich unter allen Umständen dem Gefühlscharakter des Ganzen, in das sie eingehen, unterordnen. Durch diese Eigenschaften schließen sich die Gefühlsverbindungen auf das engste an jene Empfindungsverbindungen an, die wir zwischen den Elementen eines und desselben Sinnesgebietes beobachten können, wo ja ebenfalls die Bedingung einer kontinuierlichen Mannigfaltigkeit erfüllt zu sein pflegt. Insbesondere bieten hier die im vorangegangenen Kapitel besprochenen gleichzeitig gegebenen Tonempfindungen die nächste Analogie zu den Gefühlsverbindungen. Dies spricht sich vor allem auch darin aus, daß einzelne Gefühlselemente gegenüber andern zurücktreten, die die Rolle der dominierenden übernehmen. Auf diese Weise bilden die Gefühlsverbindungen einen neuen, durchaus charakteristischen Fall jener psychischen Verbindungsprozesse, die wir eben im Hinblick auf die hier hervorgehobenen Eigenschaften mit dem Namen der Verschmelzungen belegt haben. Die Gefühlsverschmelzungen zeigen aber dabei gewisse Besonderheiten, die durchgängig mit jenem Prinzip der Einheit der Gemütslage zusammenzuhängen scheinen, das oben als eine wesentliche Eigenschaft des gesamten Gefühlslebens hervorgehoben wurde.

Nun muß die nähere Analyse der Gefühlsverschmelzungen, da sie zu den besonderen Eigenschaften der einzelnen Formen zusammengesetzter Gefühle in engster Beziehung steht, selbstverständlich der Betrachtung der letzteren überlassen bleiben. Nur die allgemeinen Prinzipien, die für die Struktur zusammengesetzter Gefühle überhaupt maßgebend sind, mögen hier, als wesentlich zur Charakterisierung der allgemeinen Eigenschaften der Gefühle, hervorgehoben werden. Dahin gehört vor allem, daß jene Verbindung einzelner Gefühle zu einer einheitlichen Gefühlsresultante keineswegs im Sinne einer gleichförmigen additiven Verknüpfung oder Summierung der Elemente stattfindet, bei der etwa nur die schwächeren und minder merklichen durch die stärkeren, merklicheren zurückgedrängt würden. Vielmehr ist jeder durch eine solche Zusammensetzung gebildete Gefühlskomplex im allgemeinen wieder eine wohlgeordnete einheitliche Mannigfaltigkeit, deren einzelne Glieder jedoch durch die eingetretene Verschmelzung ihre Selbständigkeit mehr oder weniger vollständig eingebüßt haben. Bezeichnen wir, um die Begriffe zu fixie-

ren, jene einheitliche Resultante aller in einem gegebenen Moment vorhandenen Gefühlswirkungen als das Totalgefühl, die einzelnen Gefühle, die dessen Bestandteile bilden, als die Partialgefühle, so besteht demnach die Eigentümlichkeit der Gefühlsstruktur darin, daß die einfachen Gefühle, die stets die letzten Elemente einer solchen Verbindung darstellen, nicht unmittelbar einander koordiniert sind, sondern daß in der Regel zunächst eine Anzahl einfacher Gefühle zu einem nächsten Partialgefühl sich vereinigt, welches seinen konstituierenden Elementen gegenüber als relatives Totalgefühl betrachtet werden kann, selbst aber doch erst eine Komponente des eigentlichen und definitiven Totalgefühls ist. Der allgemeine Begriff der Gefühlsverschmelzung beruht also darauf, daß die einfachen Gefühle eine stufenweise Ordnung bilden, indem sie zunächst Partialgefühle erster, dann solche zweiter, dritter Ordnung sind, woran sich eventuell bei sehr verwickelt konstituierten Gefühlen, z. B. bei den höheren ästhetischen Gefühlen, noch eine unbestimmte Reihe weiterer Ordnungen anschließen kann. Auf diese Weise setzt sich das Verhältnis der drei Gefühlskomponenten, in die sich die einzelnen einfachen Gefühle zerlegen lassen, gewissermaßen in die weiteren Verbindungen fort, zu denen hinwiederum die einfachen Gefühle zusammentreten. In diese weiteren Verbindungen gehen dann die einfachen Gefühle selbst, endlich in das Totalgefühl die verschiedenen Ordnungen zusammengesetzter Partialgefühle als nächste Komponenten ein. Gleichwohl besteht der wesentliche Unterschied, daß die einfachen Gefühle in Wirklichkeit einfache, nur durch psychologische Analyse und Abstraktion zerlegbare seelische Zustände sind, wie ihnen denn auch einfache, unmittelbar nicht weiter zerlegbare Vorstellungsinhalte des Bewußtseins entsprechen, wogegen ein zusammengesetztes Partialgefühl, das als Komponente in irgend ein komplexeres Gefühl eingeht, schon aus mehreren einfachen Gefühlen besteht, in diese letzteren also insofern wirklich zerlegt werden kann, als die einfachen Gefühle selbst als reale Inhalte des Bewußtseins vorkommen können. So ist z. B. das einfache Gefühl, das einem einzelnen musikalischen Ton *c* zukommt, und das wir etwa als ein Gefühl ruhigen Ernstes oder ruhig heiterer Stimmung bezeichnen mögen, nur in abstracto in die Komponenten der Lust, Erregung usw. zerlegbar. Aber wenn derselbe Ton *c* mit *g* zusammen den Zweiklang *c g* bildet, so entspricht diesem ein resultierendes Gefühl, das sich zunächst aus den an *c* und *g* gebundenen Tongefühlen zusammensetzt. Hierbei können jedoch diese Komponenten auch als selbständige Gefühle bei der Einwirkung der Einzeltöne vorkommen. Dieses Beispiel der Tongefühle bietet zugleich wegen der genauen Korrespondenz, in der hier Empfindungen und Gefühle zueinander stehen, die beste Veranschau-

lichung für das Verhältnis der Partialgefühle verschiedener Ordnung zum Totalgefühl. In dem Akkord *c e g* sind die an die Zusammenklänge *c e*, *e g* und *c g* gebundenen Gefühle die nächsten Partialgefühle; ihnen sind wieder die drei Klanggefühle *c*, *e* und *g* als die letzten, weil einfachen untergeordnet: diese sind also Partialgefühle erster, jene solche zweiter Ordnung. Von der Art, wie irgend ein einzelnes dieser Partialgefühle das resultierende Totalgefühl bestimmt, kann man sich mittels der Eindrucksmethode am deutlichsten Rechenschaft geben, wenn man die entsprechende Partialempfindung wechseln läßt, wenn man also z. B. von *c e g* zu *c e a* übergeht, wo jetzt die eigentümlichen Färbungen, die einerseits die hinweggenommenen, anderseits die neu hinzutretenden Komponenten dem Totalgefühl mitteilen, klar zu erkennen sind[1].

Die Beobachtung dieser Veränderungen der Totalgefühle mit der Variation ihrer Partialgefühle verschiedener Ordnung ergibt so für die Gefühlsverschmelzungen zunächst ein Prinzip der Ordnung und Abstufung der Elemente eines Ganzen, und sodann ein solches der Wertgröße dieses Ganzen im Verhältnis zu den Werten seiner Elemente. Das Prinzip der Abstufung der Elemente besteht hierbei in der Tatsache, daß in jedem irgendwie zusammengesetzten Totalgefühl ein dominierendes Partialgefühl enthalten ist, das dem Gefühl seinen Grundcharakter gibt, der dann durch die übrigen Partialgefühle mehr oder minder modifiziert wird. Das Prinzip der Wertgröße des Ganzen besteht in der weiteren Tatsache, daß sich ein Totalgefühl niemals bloß aus der Summe der Partialgefühle zusammensetzt, in die es zerlegt werden kann, sondern daß es dazu immer noch einen spezifischen, wenn auch seiner Qualität nach von den Partialgefühlen wesentlich mitbestimmten Gefühlswert hinzubringt. Dieser letztere ist es dann eben, der das Eigentümliche des Totalgefühls selbst ausmacht. Zugleich erklärt sich aber nur aus diesem Prinzip der Gefühlsresultanten die gewaltige Steigerung, die die Gefühle durch ihre Zusammensetzung erfahren können. Dasselbe läßt sich hiernach auch als ein Prinzip der Steigerung der Gefühlswerte in ihrer Zusammensetzung bezeichnen. Erst bei der Erörterung der höheren Gefühlsformen, namentlich der ästhetischen und intellektuellen, wird die vielseitige psychologische Bedeutung dieses Prinzips hervortreten. Hier beschränken wir uns darauf, als ein Beispiel einfachsten Totalgefühls das sogenannte Gemeingefühl einer kurzen Betrachtung zu unterwerfen. Seine Analyse schließt sich derjenigen der einfachen Gefühle am nächsten an, weil es unter allen Totalgefühlen wohl die einfachste Struktur besitzt.

[1] Vgl. hierzu M. Geiger, Archiv für die ges. Psychologie, Bd. 4, 1905, S. 233.

b. Das Gemeingefühl.

In der älteren Physiologie wurde das Gemeingefühl, die »Conästhesis«, den Empfindungen der äußeren Sinne gegenübergestellt, als die unmittelbare Selbstauffassung, die das wahrnehmende Subjekt von den Zuständen und Vorgängen seines eigenen Leibes besitze, und die man sich durch die sensibeln Nerven der verschiedenen Organe, der Muskeln, Drüsen, Schleimhäute, zustande kommend dachte[1]. JOHANNES MÜLLER wies sodann auf die Gleichartigkeit aller dieser Empfindungen der inneren Organe mit denen des äußeren Tastsinnes oder des »Gefühlssinnes« hin. Indem er diesem die Gesamtheit der Körperorgane zuwies, beseitigte er daher ganz jene Gegenüberstellung dieses »inneren« und der äußeren Sinne[2]. Eine zwischen beiden Betrachtungsweisen, der völligen Scheidung von den eigentlichen Sinnesempfindungen und der Einreihung unter sie, vermittelnde Auffassung brachte endlich ERNST HEINRICH WEBER zur Geltung. In seiner Arbeit über »Tastsinn und Gemeingefühl« setzte er zwar den Begriff des letzteren wieder in seine Rechte ein, hielt aber dabei doch an der Verwandtschaft mit den übrigen Sinnesempfindungen fest, indem er allgemein eine doppelte Empfindungsweise aller mit sensibeln Nerven versehenen Teile unterschied: eine spezifische, die durch bestimmte objektive Eindrücke hervorgerufen werde, und eine allgemeine, durch die sich uns der Zustand der Körperteile selbst verrate, und zu der er außer dem Schmerze alle sonstigen auf ein subjektives Verhalten bezogenen Empfindungen, insbesondere also alle Organempfindungen rechnete. WEBER betrachtete daher das Gemeingefühl nur als einen zusammenfassenden Ausdruck für ein ganzes Gebiet wechselnder Empfindungen, gerade so wie die Ausdrücke Tastsinn, Gesichtssinn usw. derartige Generalbezeichnungen sind[3]. Dieser seitdem in der Physiologie im wesentlichen stehen gebliebenen Auffassung gegenüber, daß es im Grunde nur einzelne Gefühle, aber kein einheitliches Gemeingefühl gebe, ist jedoch die Psychologie stets der Neigung treu geblieben, jene verlorene Einheit wiederherzustellen. Dabei ging man dann freilich in dem Streben, dieses Gebiet ganz von dem der einzelnen Sinnesempfindungen zu scheiden, zuweilen so weit, daß man ein solches einheitliches »Lebensgefühl«, das uns in jedem Augenblick von der Frische oder Schwerfälligkeit unserer

---

[1] Vgl. z. B. FR. ARNOLD, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 2, II, 1841, S. 404 ff.

[2] J. MÜLLER, Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 2. 1840, S. 494 ff.

[3] E. H. WEBER, Tastsinn und Gemeingefühl. Handwörterb. der Physiologie. Bd. 3, II, 1846, S. 562 ff.

Bewegungen, unserem Wohl- oder Übelbefinden Rechenschaft gebe, überhaupt von Empfindungen unabhängig machte. Als ein ohne alle Vermittelungen entstehendes Bewußtsein unseres Seins, als ein sogenanntes »Daseinsgefühl« sollte es nur an das Bewußtsein als solches gebunden sein[1]. Dies hatte nun zweifellos, jener zersplitternden Auffassung der Physiologie gegenüber, eine gewisse Berechtigung, insofern dabei die einheitliche Natur aller subjektiven Zustände energisch betont wurde. Trotzdem war die Annahme einer solchen ohne Empfindungen entstehenden Selbstauffassung der Zustände des eigenen Körpers nicht nur von vornherein im höchsten Maße unwahrscheinlich, sondern sie widersprach auch direkt der psychologischen Beobachtung, welche überall bestimmte Empfindungen als die Substrate des sogenannten Gemeingefühls erkennen läßt. So liegt hier das Richtige offenbar in der Mitte zwischen jener physiologischen und dieser psychologischen Auffassung. Die Empfindungen, an die tatsächlich das Gemeingefühl immer gebunden ist, sind die Organempfindungen und die durch direkte zentrale Erregungen und Reflexe vermittelten Empfindungen, die wir mit jenen unter dem Namen der »Gemeinempfindungen« zusammengefaßt haben (siehe oben S. 47). Auch darin, daß er diese Empfindungen als nächste Verwandte der äußeren Tastempfindungen ansah, hat wohl JOHANNES MÜLLER einen richtigen Blick bewährt. Freilich konnte sein Versuch, das Gemeingefühl ganz auf einzelne Empfindungen zurückzuführen, den psychologischen Forderungen um so weniger genügen, als dadurch jener Vermengung der Begriffe Empfindung und Gefühl, die in der neueren Physiologie die Analyse der Gefühle vor allem getrübt hat, wesentlich Vorschub geleistet wurde[2]. Das war es, was die Psychologen mit ihrem freilich etwas verschwommenen »Lebensgefühl« richtig empfanden. In Wahrheit sind eben die Gemeinempfindungen die Substrate des Gemeingefühls. Jede Empfindung hat auch hier ihren Gefühlston. Die so entstehenden Einzelgefühle setzen sich aber zu einem Totalgefühl zusammen, in welchem im allgemeinen immer irgend ein Einzelgefühl als das dominierende enthalten ist. In der Regel ist es die Intensität einer einzelnen gefühlsbetonten Empfindung, die sie zum dominierenden Bestandteil des Gemeingefühls macht. Dabei ist es gerade für diese Beziehung zur Intensität entscheidend, daß der Lust- und Unlustkomponente zwar nicht allein, aber doch in ganz vorwiegendem Maße die Elemente desselben angehören. So kommt hier jene Beziehung der Empfindungsstärke

[1] GEORGE, Lehrbuch der Psychologie. 1854, S. 231. Vgl. auch TRENDELENBURG, Logische Untersuchungen. Bd. 1, 1841, S. 203.
[2] Vgl. Bd. 1, Kap. VII, S. 409 ff.

zu den Gegensätzen der Lust und Unlust, die für diese Gefühlsrichtungen so charakteristisch ist, ganz besonders zur Geltung. In den Zuständen des »gehobenen Gemeingefühls« sind es neben schwachen Erregungsgefühlen namentlich die an mäßige Eindrücke gebundenen Lustgefühle, die als wechselnde dominierende Elemente hervortreten. Hauptsächlich sind es wohl die Empfindungen mäßiger Muskelspannung, die an die Stellungen und Bewegungen der Glieder, an die Atembewegungen geknüpft sind, und die gelegentlich von Sensationen der chemischen Sinne abgelöst werden, an die hierbei die dominierenden Gefühle gebunden sind. Gerade diese Zustände gehobenen Gemeingefühls entfernen sich daher unter normalen Verhältnissen wenig von der Indifferenzlage, in die sie leicht übergehen, um andern, an die höheren Sinnesfunktionen und an die intellektuellen Prozesse gebundenen Affekten und zusammengesetzten Gefühlen den Platz zu räumen. Auf der andern Seite ist die Schmerzempfindung die häufigste Empfindungsgrundlage der deprimierenden und unlustvollen Gemeingefühlszustände. Der Schmerz ist eben durch seine Empfindungsstärke von selbst zum dominierenden Element des Gemeingefühls prädisponiert. In der Erscheinung, daß eine Schmerzempfindung durch eine andere, oder daß sie sogar durch eine nicht unlustbetonte Empfindung oder Vorstellung in ihrem Gefühlston übertäubt werden kann, zeigt sich aber deutlich die eminente Bedeutung der dominierenden Elemente für das Gefühlsleben.

Indem nun in das Gemeingefühl alle die mannigfachen peripher und zentral ausgelösten Empfindungen, die wir im vorigen Kapitel unter den Gemeinempfindungen kennen lernten, als ihre Substrate eingehen, ist es besonders auch die dort schon hervorgehobene vielfache Beteiligung von Mitempfindungen und Reflexempfindungen, die als verbindendes Moment schon bei diesen Empfindungssubstraten eine Rolle spielt und dann um so mehr die Verschmelzung aller in einem gegebenen Moment dem Bewußtsein zuströmenden Sensationen dieses Empfindungsgebietes in seinen Gefühlstönen zu einem einheitlichen Totalgefühl begünstigt. Dabei scheint aber dieses Totalgefühl, im Unterschiede von den oben erörterten Beispielen aus den höheren Sinnesgebieten, stets eine Verbindung einfachster Art zu sein, indem sich ein gegebener Gefühlszustand in eine Menge einander gleichgeordneter einfacher Gefühle zerlegt, die durch ein meist durch seine Stärke sich hervordrängendes herrschendes Element zusammengehalten werden. Es sind also nur Partialgefühle erster Ordnung, die in die Struktur dieses Totalgefühls eingehen. Dadurch erklärt sich um so mehr der große, gerade beim Gemeingefühl oft sehr überragende Einfluß, den im Gefühlscharakter des Ganzen das dominierende Gefühl hat. Dieser Einfluß tritt besonders in solchen Fällen

hervor, wo ein bestimmtes Gefühl durch pathologische Dispositionen bei allem Wechsel sonstiger Gefühlselemente immer und immer wieder sich als das herrschende hervordrängt. So entstehen einerseits jene habituellen Gemütsstimmungen, welche den wechselnden sonstigen Bewußtseinsinhalten die von dem beharrenden dominierenden Gefühl herrührende Gefühlsfärbung mitteilen, wie sie bei den entgegengesetzten Zuständen der Melancholie und der Exaltation zur Beobachtung kommen. Anderseits hat aber auch in dieser Grundtatsache die ungeheure Wirkung ihre hauptsächlichste Quelle, die gerade bei dauernden Alterationen des Gemeingefühls, welche von solchen einzelnen dominierenden Elementen ausgehen, das Gefühl auf das Vorstellungsleben, auf assoziative und apperzeptive Prozesse und hierdurch auf die gesamte intellektuelle Seite des Seelenlebens ausübt[1].

c. Assoziationen der einfachen Gefühle.

Neben jenen unmittelbaren Verbindungen, welche die einfachen Gefühle regelmäßig eingehen, indem sie zu andern entweder als modifizierende Elemente hinzutreten, oder sich über sie als dominierende erheben, erstrecken sich von jedem einzelnen Gefühle in der Regel noch weitere assoziative Beziehungen, die für den allgemeinen Zusammenhang des Gefühlslebens vielfach bestimmend sind. Es gibt vornehmlich zwei Arten solcher Gefühlsassoziationen, die in dem Zusammenhang des Seelenlebens eine bedeutsame Rolle spielen. Die eine besteht in der Verbindung eines einzelnen Gefühls mit reproduktiven Elementen, die an irgendwelche zusammengesetzte Vorstellungen gebunden sind; die andere in den Verbindungen, die sonst disparate Empfindungen vermöge ihres verwandten Gefühlstones miteinander eingehen. Obgleich die letztere Assoziation an sich als die einfachere erscheint, so beruht sie doch wahrscheinlich meist auf verwickelteren Bedingungen, weil bei ihr jene erste Form mindestens mitzuwirken pflegt, wenn sie nicht gar ausschließlich maßgebend sein sollte. Unter allen Umständen aber verweben sich diese beiden assoziativen Prozesse vielfach im einzelnen so sehr, daß jene assoziative Gefühlshebung, die beide herbeiführen, auf ihre einzelnen Faktoren kaum mit Sicherheit zurückgeführt werden kann.

Daß der Gefühlston einer einfachen Empfindung durch die Assoziation mit geläufigen Vorstellungen, welche die nämliche Empfindung enthalten, beeinflußt wird, drängt sich nicht selten unserer Beobachtung

[1] Vgl. KRAEPELIN, Psychiatrie[6], Bd. 1, S. 185 ff. STÖRRING, Vorlesungen über Psychopathologie, S. 401 ff.

auf. Ist es auch kaum wahrscheinlich, daß solche Assoziationen jemals allein das Gefühl hervorrufen, so können sie doch auf die in der reinen Empfindung liegende Stimmung verstärkend und unter Umständen wohl auch modifizierend einwirken. Durch Assoziation z. B. erinnert die grüne Farbe an Waldes- und Wiesengrün, oder mahnt Glockengeläute oder Orgelton an Kirchgang und Gottesdienst. Durch diese Assoziationen heftet sich dann der reinen Empfindung selbst etwas von dem Gefühlston an, der jene zusammengesetzten Vorstellungen begleitet. Wegen dieser Gebundenheit an die Vorstellung sind es vorzugsweise die höheren, zu einem reicheren Vorstellungsleben entwickelten Sinne, bei denen die Assoziationen bei dem Gefühlston mitwirken. Wie Orgel- und Glockenklang an religiöse Feier, so mahnt uns die schmetternde Trompete an Kriegs- und Waffenlärm, der Schall des Hifthorns an Jagdgetümmel und Waldesfrische, die tiefen, langsamen Klänge eines Trauermarsches wecken die Vorstellung eines Leichenzuges. Schwarz ist fast bei allen Völkern die Farbe, in die sich der Leidtragende hüllt, in Purpur kleidet sich die königliche Pracht. Auch diese Assoziationen erwecken daher an und für sich schon die Stimmungen ernster Trauer, imponierender Würde, ebenso wie die hochrote Beleuchtung an Flammenschein, das Gelb an strahlenden Sonnenglanz, das satte Grün an die befriedigte Ruhe der grünen Natur erinnert. Gleichwohl ist in allen diesen Fällen die Assoziation wahrscheinlich niemals das ursprüngliche Element des Gefühls, sondern sie kann dieses nur in der ihm durch den Gefühlston der Empfindung selbst gegebenen Richtung verstärken, oder ihm wohl auch eine besondere Färbung verleihen. Am deutlichsten erhellt dies in jenen Fällen, wo die Vorstellungen, an die die Assoziationen anknüpfen, auf eine ursprüngliche Gefühlsbetonung der Empfindung zurückweisen. Schwarz ist eben deshalb die Farbe der Trauer, die Orgel dient deshalb zum Ausdruck ernster Feier, weil den Empfindungen der entsprechende Charakter innewohnt. Die Sitte, an die sich die Assoziation knüpft, ist hier selbst nur durch das Gefühl gelenkt worden. In andern Fällen liegt allerdings eine solche Beziehung der Assoziation zum Gefühlston nicht so offen zutage, weil der ursprüngliche Eindruck durch äußere Naturbedingungen erzeugt wird. So z. B. wenn die Vorstellung der grünen Vegetation die ruhige Stimmung des Grün, die Erinnerung an den belebenden Sonnenschein den erregenden Gefühlston des Gelb verstärken soll. Wollte man hier trotzdem eine Verwandtschaft des reinen Gefühlstones der Farben mit diesen Assoziationen annehmen, so würde dies, wenn die Beziehung nicht eine bloß zufällige sein soll, eine ursprüngliche Harmonie unserer Empfindungen mit den Gegenständen in sich schließen, denen diese Empfindungen als Eigenschaften zukommen. In der Tat ist das wohl insofern

keineswegs undenkbar, als auch das Sehorgan Produkt einer Entwickelung ist, bei der es sich der Naturumgebung angepaßt hat, wie man denn ja schon bei niederen Organismen eine Bevorzugung solcher Beleuchtungen beobachtet, die der Färbung des gewohnten umgebenden Mediums gleichen[1]. So sind denn auch beim Menschen die verbreitetsten Lichtarten, Weiß, Grün, Blau, zugleich diejenigen, die von der Netzhaut am längsten als gleichförmige Eindrücke ertragen werden, während dieselbe durch die selteneren, Rot, Purpur, Violett, am schnellsten ermüdet.

Eine weitere, in vieler Beziehung bedeutsame assoziative Verstärkung der Gefühle kann sodann aber auch durch die unmittelbare Verwandtschaft der Gefühlstöne verschiedener Empfindungen entstehen. Wir bezeichnen diese Assoziationen wegen der dabei stattfindenden Beziehungen der Gefühlstöne auf die Empfindungen als Analogien der Empfindung. So scheinen uns die Empfindungen disparater Sinne erfahrungsgemäß in bestimmten Verwandtschaftsverhältnissen zu stehen. Zwar liegen dem oft zugleich Beziehungen der objektiven Sinnesreize zugrunde. Aber bei der unmittelbaren Auffassung jener Analogien ist doch offenbar irgendeine Kenntnis der Reize nicht im geringsten wirksam, sondern die Assoziation vollzieht sich ausschließlich auf Grund der Empfindungen selber. So scheinen uns tiefe Töne den dunkeln Farben und dem Schwarz, hohe Töne den hellen Farben und dem Weiß angemessen. Der scharfe Klang, z. B. der Trompete, und die Farben der erregenden Reihe, Gelb oder Hellrot, entsprechen sich, ebenso die dumpfe Klangfarbe und das beruhigende Blau. In der Unterscheidung kalter und warmer Farben, in den Ausdrücken »scharfer Klang«, »gesättigte Farbe« u. a. führen wir ähnliche Vergleichungen zwischen den höheren und den niederen Sinnen aus. Alle diese Analogien beruhen aber wahrscheinlich nur auf der Verwandtschaft der zugrunde liegenden einfachen Gefühle. Der tiefe Ton als reine Empfindung betrachtet hat zu der dunkeln Farbe kaum eine Beziehung; doch da beiden der gleiche ernste Gefühlston anhaftet, so übertragen wir dies auf die Empfindungen, die uns nun selber verwandt erscheinen[2]. Verstärkt werden freilich diese Beziehungen wohl auch hier durch reproduktive Vorstellungsassoziationen. Mit dem tiefen Orgelklang, der an sich einer feierlichen Stimmung entspricht, verbindet sich die Vorstellung des dunkeln Feiertagsgewandes, usf. Vollends wo man eine speziellere Verwandtschaft der Stimmung, als wie sie hier nach ihren

[1] Vgl. Bd. 1, S. 518.

[2] Solche Beziehungen mögen wohl GOETHE vorgeschwebt haben, als er schrieb: »Ich habe nichts dagegen, wenn man die Farbe sogar zu fühlen glaubt; ihr eigenes Eigenschaftliche würde dadurch nur noch mehr bethätigt. Auch zu schmecken ist sie: Blau wird alkalisch, Gelbroth sauer schmecken. Alle Manifestationen der Wesenheiten sind verwandt.« (GOETHES Sprüche in Prosa, von G. VON LOEPER, S. 213, Nr. 988, 989.)

allgemeinsten Richtungen angedeutet ist, zwischen Klängen und Farbentönen zu finden meint, dürfte sie auf solchen Assoziationen beruhen, deren Richtung dann natürlich auch nach den Verhältnissen der individuellen psychischen Ausbildung wechselt[1]. Eine wichtige Seite aller dieser Gefühlsassoziationen liegt schließlich darin, daß sie mit zu den sinnlichen Grundlagen der ästhetischen Wirkung gehören. Auf ihnen beruht die Möglichkeit mit Tönen zu malen und in Farben zu sprechen; und durch die Vereinigung mehrerer Empfindungen von ähnlichem Gefühlston bieten sie ein wirksames Mittel zur Verstärkung der Stimmung. Die Analogien der Empfindungen selbst aber beruhen schließlich wieder auf der Zugehörigkeit der Grundrichtungen aller Gefühle zu einem und demselben Gefühlskontinuum.

Unter den Eigenschaften der einfachen Gefühle sind es übrigens besonders diese assoziativen Beziehungen, die bei verschiedenen Individuen außerordentlich große Abweichungen darbieten. Charakteristische Erscheinungen, die in dieses Gebiet der individuellen Differenzen gehören, bieten namentlich die Analogien der Empfindung, indem bei manchen Personen neben den obigen, im wesentlichen allgemeingültigen Assoziationen noch ganz andere, speziellere mit einer gewissen Konstanz sich einstellen. Die französischen Autoren haben diese Erscheinungen nach der am häufigsten vorkommenden Assoziationsrichtung als »Audition colorée« bezeichnet. Zu bestimmten Tönen werden bestimmte Farben, und umgekehrt zu Farben Töne assoziiert. Auch Worte und Farben, Begriffe von bestimmten Bedeutungsrichtungen, z. B. die Begriffe der Temperamente, der Affekte, und die Farben bilden solche Verbindungen. Bei manchen Individuen nehmen ferner die zu bestimmten Klängen assoziierten Farben geometrische Formen an, deren Gestalt und Größe sich mit dem Charakter des Klanges ändert. Alle derartige Assoziationen pflegen bei einer und derselben Person, namentlich wohl wenn der Einfluß der Einübung hinzukommt, konstant zu bleiben; bei der Vergleichung verschiedener Individuen wechseln sie aber und lassen teils gar keine Gesetzmäßigkeit erkennen, teils ordnen sie sich den oben angeführten Analogien unter. Hiernach beruhen wahrscheinlich alle diese Beobachtungen auf einer Mischung von Erscheinungen, die aus allgemeingültigen Analogien des Gefühlstones, mit andern, die aus zufällig entstandenen Assoziationen hervorgehen, während außerdem eine besondere Erregbarkeit der betreffenden Sinneszentren die individuelle Anlage begünstigt[2].

[1] Hierher gehören z. B. folgende Analogien. Der helle Klang der Schalmeie soll an das frische heitere Gelb einer mit Dotterblumen übersäeten Wiese, der Flötenton an das sanfte Himmelblau lauer Sommernächte erinnern, usw. Vgl. NAHLOWSKY, Das Gefühlsleben, S. 147. C. HERMANN, Ästhetische Farbenlehre. 1874, S. 45 f.

[2] F. GALTON, Inquiries into human Faculty. 1883, p. 114 ff. BLEULER und LEHMANN,

5. Allgemeine Theorie der Gefühle.

a. Psychologische Bedeutung der Gefühle.

Während den beiden zuvor betrachteten Bestandteilen der Empfindung, der Stärke und der qualitativen Beschaffenheit, bestimmte Eigenschaften des physischen Reizungsvorganges parallel gehen, läßt sich für die Gefühle eine ähnliche objektive Grundlage nicht unmittelbar auffinden. Die Annahme liegt daher nahe, das Gefühl sei ein sekundärer Bestandteil der Empfindungen und Vorstellungen, der erst durch irgendwelche Wirkungen oder Wechselwirkungen derselben entstehe. Diese Annahme hat in zwei Auffassungen über das Wesen der Gefühle ihren Ausdruck gefunden, die zugleich die hauptsächlichsten Gegensätze andeuten, zwischen denen sich die Theorie der Gefühle bewegt hat. Die eine betrachtet diese als unmittelbare Affektionen der Seele durch die Empfindungen und Vorstellungen; die andere sucht sie auf das wechselseitige Verhältnis der Vorstellungsinhalte des Bewußtseins zurückzuführen. Die erste Hypothese, die von ARISTOTELES bis auf KANT und die Neueren die meisten Psychologen zu ihren Vertretern zählt, setzt an die Stelle des empirischen Begriffs des Bewußtseins den metaphysischen der Seele. Über Lust und Schmerz der Seele sagt uns aber unsere Erfahrung gar nichts. In dieser kennen wir nur Zustände unseres Bewußtseins, und so nehmen wir auch die einfachen Gefühle als unmittelbare Affektionen des Bewußtseins durch die Empfindung wahr. Die zweite Auffassung ist aus verwickelteren Gefühlsformen, namentlich aus denen des ästhetischen Eindrucks, sowie aus den an die Bewegung der Vorstellungen gebundenen Gemütsbewegungen abstrahiert worden. Nach ihr, die hauptsächlich in HERBART und seiner Schule vertreten ist, resultieren die Gefühle überall aus einer Wechselwirkung der Vorstellungen. Die gegenseitige Hemmung der Vorstellungen erzeugt Unlust, ihre Verbindung und Förderung Lust. Diese Hypothese begegnet jedoch, abgesehen von den unerweisbaren Behauptungen, zu denen sie führt, der großen Schwierigkeit, daß sie gerade das einfache Gefühl, den Gefühlston der Empfindung, unerklärt läßt. Wenn wir zugeben, daß eine für sich bestehende Empfindung schon von Gefühl begleitet sein kann, so

---

Zwangsmäßige Lichtempfindungen durch Schall usw. 1881. GRUBER, Congr. intern. de Psych. physiol. Paris 1890, p. 157, und Congr. de Psych. expér. London 1892, p. 12. TH. FLOURNOY, Des Phénomènes de Synopsie. 1893. (Eingehende Darstellung dieser und verwandter Erscheinungen.) W. O. KROHN, Amer. Journ. of Psych. 1892. (Ausführliche Bibliographie.) D. E. PHILLIPS, ebend. 1897. Über Assoziation von Worten und Farben vgl. H. KAISER, Archiv für Augenheilkunde, Bd. 9, 1, S. 96.

läßt sich dies doch offenbar nicht aus einer Wechselwirkung von Vorstellungen ableiten. Unmöglich können aber die einfachen Gefühle als Zustände betrachtet werden, die von den zusammengesetzteren Gemütsbewegungen völlig verschieden wären[1], da sie nicht nur nach ihrem allgemeinen Charakter diesen verwandt sind, sondern auch häufig die elementaren Faktoren derselben abgeben. Wie ihnen, so wohnt nun schließlich allen Gefühlen die Eigenschaft bei, daß sie nicht bloß durch die Form, in der das innere Geschehen abläuft, sondern zunächst und hauptsächlich durch den besonderen Inhalt der einzelnen Empfindungen und Vorstellungen bestimmt werden. Gerade an den Eigenschaften, denen die Gefühle ihren Wert und ihre Bedeutung für das Seelenleben verdanken, gehen somit diese metaphysischen und formalistischen Theorien nichtachtend vorüber.

Trotz ihrer Verschiedenheit treffen übrigens beide Hypothesen darin zusammen, daß sie den dem Gefühl zugrunde liegenden Vorgang sondern von der eigentlichen Empfindung und Vorstellung, die sie als für sich bestehende Inhalte des Bewußtseins auffassen. Nun sind uns aber in Wirklichkeit alle diese Bestandteile des seelischen Lebens als zusammengehörige, an sich einheitliche gegeben. Wir werden daher der Wahrheit näher kommen, wenn wir zunächst bei den einfachen Gefühlen das Verhältnis so definieren, daß an jenem untrennbaren Ganzen, das wir eine Empfindung von bestimmter Qualität, Stärke und Gefühlsfärbung nennen, die letztere denjenigen Bestandteil darstellt, den wir als die subjektive Reaktion des Bewußtseins auf einen Eindruck auffassen, während wir diesem die Intensität und Qualität der Empfindung als seine objektiven Eigenschaften zuteilen.

Wird damit dem Gefühl die gleiche Unmittelbarkeit und Ursprünglichkeit wie der Empfindung zugestanden, nur daß es uns gewissermaßen von einer andern Seite her die psychischen Erlebnisse erblicken läßt, so sind nun damit indirekt auch alle jene intellektualistischen Interpretationen der Gefühle beseitigt, wie sie teils in Verbindung mit den beiden oben erwähnten Haupttheorien, teils ohne sie noch gegenwärtig in der Psychologie ihr Dasein fristen. Solche Interpretationen sind in einer doppelten Form aufgetreten: in einer ursprünglicheren, naiveren, und in einer späteren, mehr kritischen. Gleichwohl sind beide die Produkte einer Reflexionspsychologie, welche die seelischen Erlebnisse dadurch erklären zu können glaubt, daß sie von den Überlegungen Rechenschaft gibt, die der psychologische Beobachter über sie anstellt. Nur der Unterschied besteht zwischen

[1] Manche Herbartianer sind freilich, der allgemeinen Theorie zuliebe, auch vor dieser Konsequenz nicht zurückgeschreckt. Vgl. z. B. NAHLOWSKY, Das Gefühlsleben. 1862, S. 13 ff.

ihnen, daß die eine die Gefühle selbst für Erzeugnisse der Reflexion erklärt, speziell also die Lust für eine mehr oder weniger dunkle Erkenntnis der Nützlichkeit, die Unlust für eine solche der Schädlichkeit eines Sinnesreizes, wogegen es die zweite für eine weise Einrichtung der Natur ansieht, daß vor das Nützliche die Lust, vor das Schädliche der Schmerz als Schützer der menschlichen Wohlfahrt gesetzt sei. Auf diese Weise hängen beide Formen zugleich auf das engste mit der Lust-Unlusttheorie zusammen, da in der Tat bei den andern Richtungen der Gefühle kaum an solche utilitarische Gesichtspunkte gedacht werden könnte. Aber auch für Lust und Unlust gilt was für die Gefühle überhaupt gilt: sie sind unmittelbare, in ihren letzten Elementen nicht in weitere Bestandteile zerlegbare, und eben darum nicht auf irgendwelche andere Vorgänge zurückführbare Erlebnisse. So wenig es zulässig ist zu sagen, der Mensch empfinde Rot, Grün, Blau, damit er das fließende Blut, den blauen Himmel und die grüne Vegetation wahrnehmen könne, gerade so wenig ist es erlaubt zu sagen, der Mensch fühle Lust und Unlust, um gewisse Reize aufzusuchen und andere zu meiden. Hätte die Natur wirklich bei der Ausstattung des Menschen mit Gefühlen solche Zwecke verfolgt, so würde sie diese Zwecke ohnehin schlecht erreicht haben. Denn es ist bekannt genug, daß die gefährlichsten Gifte angenehm und die heilsamsten Arzneimittel schlecht schmecken und riechen können, wie nicht minder, daß die gefährlichsten Krankheiten gelegentlich schmerzlos verlaufen. Natürlich, ein Körnlein Wahrheit fehlt auch hier nicht. Aber um es zu finden, müssen wir vor allem von der gleichen Ursprünglichkeit von Gefühl und Empfindung ausgehen. Dann ist ja auch die Eigenschaft der Tiere und des Menschen, zu sehen, zu hören, zu riechen usw., eine nützliche Einrichtung für ihre Organisation, so wie diese nun einmal beschaffen ist. Sie ist zweckmäßig, weil sie eben von Anfang an mit zu dieser Organisation gehört und aus jener Wechselwirkung des lebenden Wesens mit seiner Umgebung hervorgegangen ist, die wir mit einem zusammenfassenden teleologischen Ausdruck seine »Anpassung« nennen. Nicht als ob dieser Ausdruck selbst irgend etwas erklären sollte. Aber er weist doch, gegenüber der alten Physikotheologie und -teleologie, die den Organismus, seine Bedürfnisse und die Werkzeuge zu ihrer Befriedigung als bloß äußerlich verbundene Einrichtungen angesehen hatten, auf die unmittelbare innere Einheit aller dieser Eigenschaften hin, die es streng genommen nie erlaubt, ein Glied des Ganzen als ein bloßes Hilfsmittel für die andern Teile anzusehen, statt sie alle als zusammengehörige, aus denselben notwendigen Gesetzen organischer Entwickelung hervorgegangene Faktoren. Nicht anders verhält es sich mit den Gefühlen. Hier bilden Lust und Unlust, wie nicht minder Erregung und Beruhigung, Spannung

und Lösung, Grundbestandteile des psychischen Lebens, die mitbegründet sind in jener ganzen psychophysischen Organisation, vermöge deren jede Funktion in die andern eingreift, und keine der Grundfunktionen überhaupt von den andern losgelöst werden kann. Die Frage, weshalb wir Lust, Unlust usw. fühlen, ist also eigentlich ebenso inhaltsleer, als wenn wir fragen wollten, warum wir tasten, riechen, schmecken usw., und warum sich nicht etwa statt dieser ganz andere Empfindungen entwickelt haben. Die Gefühle gehören ebenso zu den fundamentalen Eigenschaften der menschlichen und, wie man mit der größten Wahrscheinlichkeit hinzufügen darf, auch der tierischen Natur, wie die Empfindungen. Wie wir nun aber allerdings trotz der Unableitbarkeit der ursprünglichen Empfindungsqualitäten diese, nachdem sie einmal da sind, mit bestimmten Lebensfunktionen in Beziehung bringen können, so verhält es sich auch mit den Gefühlen; und in diesem Sinne ist daher zwar nicht eine Ableitung der Gefühle aus irgendwelchen andern seelischen Vorgängen, wohl aber eine Aufzeigung der allgemeinen Beziehungen möglich, in denen sie zur Gesamtheit der seelischen Vorgänge stehen.

Fassen wir die Aufgabe in diesem einzig berechtigten und eigentlich einzig möglichen Sinne, so bilden nun zunächst Empfindung und Gefühl die zueinander gehörenden elementaren Komponenten des seelischen Lebens überhaupt, insofern dieses immer und überall *Erlebnisse erlebender Subjekte* umfaßt, damit also auch ohne weiteres in objektive und subjektive Bestandteile sich sondert: die Elemente jener objektiven Bestandteile sind die Empfindungen, die der subjektiven die einfachen Gefühle. Der Gefühlston bildet demnach schon insofern ein notwendiges Komplement der Empfindung, als jede Empfindung einem empfindenden Subjekt angehört, also neben ihrem objektiven als subjektiven Faktor eben das Verhalten dieses Subjekts zu dem Eindruck enthält. Dies spricht sich ohne weiteres in der Tatsache aus, daß wir zwar die Empfindungen bzw. die aus ihnen gebildeten Vorstellungen, nicht aber die Gefühle und die aus ihnen zusammengesetzten Gemütsvorgänge objektivieren, sondern sie fortan und unmittelbar als das auffassen was sie sind, als unsere eigenen subjektiven Erlebnisse, die dann freilich immer zugleich die Art bezeichnen, wie wir auf die in der Empfindung gegebenen objektiven Eindrücke reagieren. In diesem weiteren Sinne gehören zu den objektiven Inhalten natürlich auch die Empfindungen unserer eigenen Körperorgane, bei denen die nähere Beziehung zu dem Subjekt nur darin zum Ausdruck kommt, daß der Gefühlston dieser Empfindungen besonders intensiv zu sein pflegt, so daß die eigentlichen Empfindungselemente dagegen zurücktreten können.

In dieser allgemeinen Begriffsbestimmung der Gefühle, als der sub-

jektiven Reaktionen des erlebenden Bewußtseins auf seine Erlebnisse, liegt bereits ausgesprochen, daß sie, im Gegensatze zu den in mehrere Mannigfaltigkeiten auseinandertretenden Empfindungen, einheitliche Funktionen sind. Denn so mannigfaltig jener Inhalt sein mag, so bildet er doch in jedem Moment ein Ganzes im Bewußtsein. Diese Einheit des Bewußtseins wird nun aber allerdings ihrerseits wieder vermittelt durch jene spezifische Einheitsfunktion desselben, die in wechselnder Weise die einzelnen Bewußtseinsinhalte durch Hemmung der übrigen zu besonderer Klarheit erhebt, und die wir danach als die zentrale Funktion des Bewußtseins oder, im Unterschiede von den perzipierten Bewußtseinsinhalten, als die Apperzeption bezeichnen[1]. Diese Funktion der Apperzeption ist in jedem Augenblick auch für den ganzen übrigen Bewußtseinsinhalt bestimmend, indem dessen sämtliche Elemente nach ihrem Verhältnis zu den apperzipierten Elementen geordnet werden. So erscheinen denn auch die an die einzelnen Bewußtseinsinhalte gebundenen Gefühle durchaus als subjektive Bestimmungen, die jedes einzelne Erlebnis durch seine Einwirkung auf die Funktion der Apperzeption empfängt. In diesem Sinne ist jedes Gefühl nicht bloß Reaktion des Bewußtseins, sondern Reaktion der Apperzeption auf den einzelnen Bewußtseinsinhalt. Dieses fundamentale Verhältnis spricht sich namentlich auch in einer Tatsache aus, die uns bei den Assoziations- und Erinnerungsvorgängen wieder begegnen wird. Sie besteht darin, daß der Gefühlston einer nur dunkel perzipierten Empfindung oder Vorstellung gleichwohl irgendwie apperzipiert wird und so das vorhandene Totalgefühl mehr oder minder lebhaft oder sogar vorherrschend bestimmen kann. So hängt überhaupt ebenso der Zusammenhang der Gefühle in einem einzigen Gefühlskontinuum wie die Eigenschaft der einzelnen, in jedem Moment im Bewußtsein zu einem einheitlichen Totalgefühl vereinigt zu sein, mit dieser ihrer direkten Beziehung zur Apperzeption oder, genauer ausgedrückt, mit dem Wesen des Gefühls, Reaktionsweise der Apperzeption auf den Bewußtseinsinhalt zu sein, auf das engste zusammen.

Als eine solche Reaktion der Einheitsfunktion des Bewußtseins oder der Apperzeption ist nun aber das Gefühl wieder von den sämtlichen Faktoren abhängig, die in diese Wechselbeziehung eingehen: auf der einen Seite von der Beschaffenheit des Bewußtseinsinhalts, und auf der andern von der Energie, mit der vermöge der vorhandenen Dispositionen des Bewußtseins die Apperzeption reagiert. Daraus wird im allgemeinen verständlich, daß jedes Gefühl aus Komponenten zusammengesetzt ist, die von dem spezifischen Bewußtseinsinhalt her-

[1] Vgl. unten Abschn. V und oben Abschn. I, Bd. 1, S. 378 ff.

rühren — als solche lernten wir die Lust-Unlust- und die Erregungs-Beruhigungselemente kennen — und aus andern, die an die allgemeinen Apperzeptionsbedingungen für diesen spezifischen Inhalt gebunden sind: die Spannungs-Lösungskomponenten. Unter ihnen sind die ersteren natürlich beide sowohl von der Intensität wie von der Qualität des Eindrucks abhängig. Aber die besonderen Bedingungen dieser Komponenten bringen es mit sich, daß gerade die Gefühlsrichtungen, die in erster Linie den momentanen Gefühlszustand seiner Qualität nach charakterisieren, Lust und Unlust, eine Funktion zugleich der Intensität des Eindrucks sind, und daß dagegen diejenigen, die vielmehr die intensive Erregung des Gemüts in sich schließen, Erregung und Beruhigung, vorzugsweise als Funktionen der Qualität der Eindrücke auftreten. Dies ist natürlich nicht so zu verstehen, als wenn die Stärkeverhältnisse der objektiven Bewußtseinsinhalte an sich Lust oder Unlust, ihre Qualitäten aber Erregung oder Depression erzeugten. Vielmehr sind beide Gefühlskomponenten immer unteilbar an das Ganze jenes Inhalts gebunden, gerade so wie ja auch die Empfindung Intensität und Qualität nicht als voneinander unabhängige Elemente enthält.

b. Die Gefühle als psychophysische Vorgänge.

Jene Theorie, welche die Gefühle als »unmittelbare Affektionen der Seele« definierte, sah in denselben meist zugleich spezifische Zustände der Seele, die an sich von körperlichen Vorgängen unabhängig seien. In den Empfindungen die Eindrücke der Außenwelt aufnehmend, sollte sie in den Gefühlen gewissermaßen sich selbst in ihrem eigenen inneren Sein anschauen. Diese Ansicht ist selbstverständlich durch alles das, was wir über die physiologische Symptomatik der Gefühle erfahren haben, unhaltbar geworden. Sind doch die respiratorischen und vasomotorischen Begleiterscheinungen so überaus feine Reagentien der Gefühle, daß sich diese, wenn sie selbst eben erst subjektiv wahrnehmbar werden, auch schon in jenen physischen Symptomen verraten. Augenscheinlich also sind die Ausdruckserscheinungen hier den psychischen Vorgängen ganz so unveränderlich zugeordnet, wie die Sinneserregungen den Empfindungen, wobei wir ja auch bei diesen die Erregungen der Sinneszentren mit zu dem allgemeinen Begriff der Sinneserregung rechnen müssen. (Vgl. Bd. 1, S. 421.) Nun sind die sämtlichen früher erörterten Ausdruckserscheinungen im allgemeinen, und namentlich insoweit sie als psychophysische Symptome in Betracht kommen, dem Willen entzogene Innervationsvorgänge, die teils in Zentren des verlängerten Marks, teils in peripheren Ganglien oder sonstigen nervösen Apparaten ihren Sitz haben;

daher sie denn auch völlig unabhängig von irgendwelchen subjektiv wahrnehmbaren Gefühlszuständen mannigfache Veränderungen erfahren können (S. 280). Daneben sind aber diese Innervationszentren mit zentraleren Gebieten, namentlich mit solchen der Hirnrinde durch intrazentrale Leitungsbahnen verbunden, wie dies die physiologischen Einflüsse beweisen, die die Reizung oder Ausschaltung der höheren Zentren auf Atmungs- und Herzbewegungen ausüben. Somit ist für die physischen Symptome der Gefühle an sich ein doppelter Angriffspunkt denkbar: ein mehr peripher gelegener, in den niederen Zentren der Medulla oblongata und ihrer nächsten Adnexa, und ein zentralerer, mutmaßlich jenen Gebieten der Hirnrinde angehörig, in denen auch nach anderweitigen physiologischen Erfahrungen Verbindungen mit den direkten Innervationszentren angenommen werden müssen. In der Tat hat man nun zuweilen vermutet, die Zentren für die Ausdrucksbewegungen der Gefühle seien eben in jenen Gebieten des verlängerten Markes gelegen, von denen, wie wir annehmen dürfen, die normale Selbststeuerung der Atmung und der Herzbewegung ausgeht, und in denen überdies mimische Reflexe ausgelöst werden können. Insbesondere die letzteren, die, weil sie leicht der unmittelbaren Beobachtung zugänglich sind, im gewöhnlichen Leben allgemein als äußere Zeichen der Gemütsbewegungen gelten, sind danach zuweilen auch als Merkmale der entsprechenden subjektiven Zustände betrachtet worden. So hat man mehrfach beobachtet, daß hirnlose Mißgeburten auf die Einwirkung süßer, saurer, bitterer, salziger Geschmacksreize genau mit denselben mimischen Bewegungen antworten wie der voll entwickelte Mensch, und daß sich an den ersten mimischen Reflex des Süßen zuweilen weitere Saugbewegungen anschließen, die das Kind bis dahin vermissen ließ[1]. Indem man diese Bewegungen als Gefühlsreaktionen deutete, schloß man nun, daß die Gefühle nicht im Großhirn, sondern in den niederen Nervenzentren ihren Sitz haben. Wäre diese Ansicht richtig, so würden natürlich diese Ausgangspunkte der physischen Gefühlssymptome auch als die Zentren anzusehen sein, in denen die Gefühle selbst residieren. Daß eine solche Annahme angesichts der engen Beziehungen, in denen die sonstigen, doch meist sehr zusammengesetzten Bewußtseinsinhalte und die Gefühle zueinander stehen, psychologisch eine außerordentlich geringe Wahrscheinlichkeit für sich hat, braucht hier nicht weiter ausgeführt zu werden. Ebenso kann man sich aber durch die beobachteten Erscheinungen kaum veranlaßt sehen, den Sitz der bewußten Geschmacks- oder anderer Empfindungen in jene niederen Zentren

[1] Preyer, Die Seele des Kindes[4], 1895, S. 79. Flechsig, Die Lokalisation der geistigen Vorgänge. 1896, S. 11. W. Sternberg, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 77.

zu verlegen. Sind doch die mimischen Bewegungen an und für sich zunächst lediglich Reflexe, an die sich dann, ebenso mechanisch wie sie selber entstanden sind, weitere Mitbewegungen, wie z. B. die des Saugens, anschließen können. Darum sind die Ausdrucksbewegungen überhaupt an sich stets zweideutiger Art: sie können wirkliche Begleiterscheinungen bestimmter psychischer Zustände, oder sie können auch bloße Wirkungen irgendwelcher durch periphere Reize schon in den niederen Zentren ausgelöster Reflexe und als solche für die psychische Symptomatik bedeutungslos sein. Gerade bei den respiratorischen und vasomotorischen Erscheinungen lehrt uns ja die Physiologie vielfach Einflüsse kennen, die ebenso wie bestimmte psychische Zustände wirken, darum aber doch keineswegs solche sind. Man denke z. B. an die Wirkungen der Reizung und der Durchschneidung des Vagus auf Atmung und Herzschlag. Der Beweis, daß es sich bei einer gegebenen Ausdrucksbewegung um ein psychisches Symptom handelt, läßt sich daher stets nur daraus entnehmen, daß wirklich ein psychischer Zustand vorhanden ist. Nun steht aber jedenfalls fest, daß zur Auslösung solcher Gefühle, wie wir sie bei unseren Versuchspersonen beobachten, zentrale Vorgänge in den Sinnes- und Apperzeptionszentren gehören, von denen die Gefühle selbst, da sie nur Bestandteile der ganzen Vorgänge bilden, gar nicht losgelöst werden können. Demnach werden wir auch jene physischen Symptome nicht in die nächsten respiratorischen und vasomotorischen Zentren der Medulla verlegen dürfen, sondern sie werden mutmaßlich aus den Innervationen entspringen, die diesen nächsten Zentren von höher gelegenen aus zugeführt werden. Nun sind die Gefühle, von ihrer psychologischen Seite betrachtet, in dem doppelten früher erörterten Sinne einheitliche Zustände, daß sie erstens eine einzige zusammenhängende Mannigfaltigkeit bilden, und daß sie sich zweitens jeweils zu einem das Bewußtsein bestimmenden Totalgefühl verbinden. Danach sind wir aber auch berechtigt, für jene den Gefühlen entsprechenden physischen Begleiterscheinungen ein einheitliches Substrat zu vermuten. Dies würde dazu führen, in den Ausdrucksbewegungen überhaupt Reflexe des Apperzeptionszentrums zu sehen. Reflexe sind sie insofern, als zwar die Bedingungen, unter denen die Gefühle entstehen, außerhalb des Mechanismus reflektorischer Erregungen liegen, die Ausdrucksbewegungen jedoch, wie dies vor allem die respiratorischen und vasomotorischen Symptome zeigen, durchaus unwillkürliche und ohne unmittelbares Bewußtsein vor sich gehende Begleiterscheinungen der psychischen Zustände sind. Den Reflexbahnen, die von diesem allgemeinen Gefühlszentrum ausgehen, werden wir dann, außer ihren mannigfachen sonstigen Verbindungen mit der Körpermuskulatur, insbesondere auch

solche mit den Innervationszentren des verlängerten Marks für Atmung und Blutbewegung anweisen müssen. In die hier stattfindende Selbststeuerung der Vorgänge und in die mannigfachen Wechselwirkungen, die zwischen den verschiedenen einander koordinierten Zentren stattfinden, greifen aber, wie uns eben die Einflüsse der Gefühle und Affekte unmittelbar lehren, jene von höheren Zentren herstammenden Innervationen in einer Weise ein, die wiederum von der Natur der psychischen Inhalte bzw. von der physiologischen Natur der begleitenden Vorgänge im Apperzeptionszentrum abhängig ist. Das entstehende Symptomenbild selbst wird also jeweils zunächst das Produkt der Modifikationen sein, die jene zentralen Einwirkungen in der Korrelation erregender und hemmender Innervationen, auf der die normale Selbstregulierung der Bewegungen beruht, hervorbringen. Am Herzen, wo zumeist in getrennten Bahnen, in den Fasern des Vagus und des aus dem Halsmark stammenden »Accelerans«, die hemmend und erregend auf die Herzbewegungen wirkenden Fasern verlaufen, liegen uns diese Verhältnisse am klarsten vor Augen. Wird z. B., wie beim Gefühl der Spannung, der Herzpuls gleichzeitig geschwächt und verlangsamt, so ist das ein Erfolg, den wir genau in derselben Weise durch eine künstliche Reizung der Vagusfasern von geeigneter Stärke herbeiführen können. Wir werden also berechtigt sein zu vermuten, daß das Spannungsgefühl von einer Reizwirkung zentraler, wahrscheinlich direkt vom Apperzeptionszentrum herstammender Fasern auf die Vaguszentren begleitet ist, worauf dann bei der Lösung mit dem plötzlichen Nachlaß dieses Hemmungsreizes umgekehrt eine verstärkte Wirkung auf die Acceleranszentren kompensatorisch eintritt. Beim Gefühl der Erregung sind es wahrscheinlich diese letzteren, denen eine die Innervation verstärkende Wirkung zufließt, während bei der Beruhigung wohl gleichzeitig mit dem Aufhören dieser Wirkung eine Abnahme der tonischen Erregung der Vaguszentren und damit eine Herabsetzung der hemmenden und regulatorischen Innervation eintritt. Nicht minder dürften endlich die bei den Gefühlen der Lust und Unlust beobachteten Erscheinungen auf einem Zusammenwirken der verschiedenen Innervationen beruhen. Denn die gesteigerten und zugleich verlangsamten Pulsschläge bei der Lust weisen auf eine gleichzeitige mäßige Reizung der hemmenden Vagusfasern und der Acceleransfasern hin, die sich in dem Maße kompensieren, daß die durch die letztere gesteigerte Erregung in den höheren Pulswellen, die durch die erstere erzeugte Hemmung in den längeren Herzpausen zum Ausdruck kommt. Bei der Unlust sind aber die Erscheinungen denen, die der Aufhebung der regulatorischen Nerveneinflüsse, z. B. der Durchschneidung des Vagus bei Tieren, folgen, so sprechend ähnlich, daß wir in diesem Fall wohl in einer stark

hemmenden Wirkung auf das Vaguszentrum die Hauptursache der Erscheinungen sehen dürfen. So entsprechen die Ausdruckserscheinungen im Gebiet des Herzens durchaus solchen, wie sie sich auch künstlich durch periphere Einwirkungen auf die nächsten Innervationszentren hervorbringen lassen. Damit ist aber zugleich, in Anbetracht der Beziehungen, in denen diese Zentren stehen, die Möglichkeit einer analogen, von höheren Zentren ausgehenden Beeinflussung erwiesen; und das nämliche gilt für die respiratorischen Erregungs- und Hemmungswirkungen. Weiter als zu einem solchen Nachweis einer in den physiologischen Bedingungen des Nervensystems gelegenen Zuordnung bestimmter Symptome zu bestimmten psychischen Inhalten reicht aber freilich der uns zu Gebote stehende Tatbestand nicht aus. Zur Erkenntnis der tieferen Beziehungen, die hier zwischen der psychischen Seite der Erscheinungen und ihrer physischen Außenseite obwalten, fehlt es noch ganz an der hierzu erforderlichen physiologischen Erforschung der zentralen Funktionsbedingungen.

Obgleich sich dieses Kapitel zunächst nur mit den einfachen Gefühlen beschäftigt, so hängen doch die Eigenschaften dieser so eng mit dem allgemeinen Wesen der Gefühle zusammen, daß es geboten erschien, in den vorstehenden theoretischen Betrachtungen bereits auf die Frage nach der Stellung, die die Gefühle überhaupt im seelischen Leben einnehmen, einzugehen. Aus dem gleichen Grunde, und da gerade die einfachen Gefühle die entscheidenden Gesichtspunkte für die Beurteilung des allgemeinen Gefühlsproblems an die Hand geben, mögen an dieser Stelle zugleich die wichtigsten Hypothesen über die Natur der Gefühle kurz besprochen werden. Wir können im allgemeinen vier solcher Hypothesen unterscheiden, zwischen denen freilich mannigfache Übergänge vorkommen[1].

Nach der ersten ist das Gefühl eine besondere Betätigung der Erkenntnis. Diese streng intellektualistische Auffassung ist wohl die ursprünglichste. Der Aristotelische Vergleich der Lust und des Schmerzes mit Bejahung und Verneinung, die Versuche der Stoiker, den Affekt auf den Glauben an ein zukünftiges oder gegenwärtiges Glück oder Übel zurückzuführen, weisen auf sie hin. In der neueren Zeit hat sie ebensowohl in dem Empirismus Lockes und seiner Nachfolger, wie in der Leibnizschen Philosophie eine Stütze gefunden. Nach Locke[2] sind Lust und Schmerz einfache Vorstellungen, die sich auf die verschiedenen Zustände der Seele beziehen. Seit Hartley und Hume gewann der Begriff der Assoziation auch hier insofern einen förderlichen Einfluß, als er wenigstens das Moment der bewußten Reflexion gegenüber der Annahme eines gesetzmäßig wirkenden

[1] Vgl. zu dem Folgenden Cesca, Vierteljahrsschr. für wiss. Philos., Bd. 10, 1886, S. 137 ff. Bobtscheff, Die Gefühlslehre in ihren hauptsächlichsten Gestaltungen. Dissert. Leipzig. 1888. Savescu, Die Gefühlslehre in der neuesten französischen Psychologie. Dissert. ebend. 1900. M. Brahn, Zeitschrift für Hypnotismus usw. Bd. 4, 1896, S. 303. Bd. 5, 1897, S. 56 ff.

[2] Locke, Untersuchungen über den menschlichen Verstand, Buch II, Kap. XX.

psychischen Mechanismus zurückdrängte[1]. Auf diesem durch die Assoziationspsychologie gewonnenen Standpunkte sind dann die führenden englischen Psychologen, JAMES MILL[2], HERBERT SPENCER[3], ALEXANDER BAIN[4], im wesentlichen stehen geblieben. Eine ähnliche, aber mehr metaphysisch gerichtete Umbildung vollzog LEIBNIZ, indem er das Gefühl mit seinem Begriff des unendlich Kleinen in Verbindung brachte und demnach Lust und Unlust zu den dunkeln Vorstellungen zählte[5]. An diese Gedanken hat noch HEGEL angeknüpft, wenn er das Gefühl eine dunkle Erkenntnis nannte[6]. Von WOLFF, dem der Begriff der dunkeln Vorstellung überhaupt widerstrebte, wurde dagegen das Gefühl wiederum als die intuitive Erkenntnis irgendeiner wahren oder eingebildeten Vollkommenheit, die Unlust als das Gegenteil davon definiert[7], womit dann auch seine Begriffsbestimmung der Affekte übereinstimmt[8]. Diese Anschauungen blieben in der WOLFFschen Schule maßgebend, bis TETENS und KANT dem Gefühlsvermögen eine selbständige Stellung anwiesen, und dadurch in der folgenden Zeit diejenige Auffassung zur Herrschaft brachten, die wir unten als die dritte kennen lernen werden. Nichtsdestoweniger beeinflußt die logische Theorie zum Teil noch die spätere deutsche Psychologie. So wenn KANT das Vergnügen ein Gefühl der Beförderung, den Schmerz das eines Hindernisses des Lebens nennt[9], oder wenn LOTZE diese Definition so modifiziert, daß er das Gefühl auf eine unbewußte Beurteilung der geförderten oder gestörten Harmonie der Lebensfunktionen bezieht[10]. Hiermit verwandt ist die Ansicht vieler Psychologen von der Natur des Gemeingefühls, das meistens mit mehr oder weniger deutlichen Anklängen an LEIBNIZ' dunkle Perzeptionen, bald als ein unmittelbares Bewußtsein unseres eigenen Bewegens und Befindens[11], bald als eine Summe kleiner Empfindungen[12], bald als ein Kampf dieser, die sich zum Bewußtsein drängen[13], geschildert wird. Gegen alle diese logischen Theorien ist der entscheidende Einwand, daß sie lediglich über die objektive Ursache der Ge-

---

[1] HUME, Treatise on human nature. Buch II.
[2] Analysis of the phenomena of the human mind. 1829.
[3] Principles of psychology². 1870. Deutsche Ausg. 1882—86.
[4] The emotions and the will². 1865.
[5] LEIBNIZ, Nouveaux essais, t. 2, 20, § 6. Opera phil. ed. ERDMANN, p. 248.
[6] HEGEL, Enzyklopädie, Bd. 3. Werke, Bd. 7, 2, S. 165.
[7] WOLFF, Psychologia empirica, § 511, 518.
[8] Ebend. § 603 sq.
[9] KANT, Anthropologie, S. 144.
[10] LOTZE, Allgemeine Pathologie, S. 187, und Art. »Seele« in WAGNERs Handwörterbuch, Bd. 3, 1, S. 191. Später hat LOTZE diese Rückbeziehung auf einen Aktus unbewußter Intelligenz zurückgedrängt und nun einfach das Gefühl selbst als eine Förderung oder Störung durch den Reiz bestimmt. (Medizinische Psychologie, S. 234.) Hierdurch nähert sich seine Anschauung einer Modifikation der KANTschen Theorie, die W. HAMILTON vertritt (Lectures on Metaphysics⁵, vol. 2, p. 444 f.), und der in wieder etwas veränderter Gestalt auch L. DUMONT und ALFR. LEHMANN sich anschließen. (L. DUMONT, Vergnügen und Schmerz. Intern. wiss. Bibl. 1876. A. LEHMANN, Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892, S. 143 ff.)
[11] GEORGE, Die fünf Sinne. 1846, S. 44 ff., und Lehrbuch der Psychologie. 1854, S. 231. Verwandt ist TRENDELENBURGs Lehre vom unmittelbaren Bewußtsein der Muskelbewegungen. (Logische Untersuchungen², Bd. 1, S. 235 ff.)
[12] LOTZE, Medizinische Psychologie, S. 281.
[13] WAITZ, Grundlegung der Psychologie. 1846, S. 64, und Lehrbuch der Psychologie 1849, § 9 und 10.

fühle reflektieren, um dann das Ergebnis dieser Reflexion für das ursprüngliche Wesen derselben zu halten. Wenn WOLFF z. B. die Lust eine intuitive Erkenntnis der Vollkommenheit nennt, so hat er zuerst das objektiv Angenehme als das Vollkommene bestimmt, worauf dann das Gefühl in irgendeiner, wenn auch dunkeln, Erkenntnis dieses Begriffs bestehen soll. Dabei ist aber offenbar der wirkliche Vorgang umgekehrt, da das Gefühl jedenfalls ursprünglicher ist als der Begriff des Angenehmen oder Unangenehmen. In jenen Modifikationen der logischen Hypothese, die dasselbe aus einer Förderung und Hemmung der Lebensfunktionen u. dergl. ableiten, wird es endlich ohne Rücksicht auf seine fundamentale psychologische Bedeutung zu einem gewissermaßen zufälligen Nebeneffekt irgendwelcher physiologischen Nervenprozesse gemacht. So lange nicht gesagt ist, worin jene Förderung und Hemmung besteht, wie in den älteren Hypothesen[1], tritt dieser Mangel weniger zutage, als wenn ernstlich der Versuch gemacht wird, an bekannte Tatsachen der Nervenphysiologie anzuknüpfen, wie in einigen neueren Theorien dieser Richtung. In diesem Fall geht dann aber zugleich diese erste in irgendeine Form der vierten Hypothese über, wo wir darauf zurückkommen werden.

Nach der zweiten Hypothese beruht das Gefühl auf einer Wechselwirkung der Vorstellungen. Bezeichnet man die Empfindungen als elementare Vorstellungen, so entspringen demnach schon die Gefühlstöne dieser nicht aus den Vorstellungen selbst, sondern aus ihrem Verhältnis zu einander. Nachdem längst gewisse ästhetische Gefühle, wie z. B. die an die Tonintervalle geknüpften, auf ein Verhältnis der Eindrücke zurückgeführt worden waren[2], hat HERBART[3] diese Theorie auf alle Formen des Gefühls ausgedehnt. Er unterscheidet Gefühle, die an die Beschaffenheit des Gefühlten geknüpft sind, von solchen, die von der Gemütslage abhängen. Zu den ersteren rechnet er die ästhetischen und die sinnlichen, welche beide darauf beruhen sollen, daß sie sich aus Partialvorstellungen zusammensetzen, die sich aber nur bei den ästhetischen deutlich im Bewußtsein voneinander sondern lassen, während sie bei den sinnlichen ungesondert bleiben. Aus der Gemütslage dagegen entspringen die Affekte[4]. Indem HERBART einerseits den Einfluß, den die Bewegung der Vorstellungen im Bewußtsein auf die Gemütsstimmung ausübt, und anderseits die Bedeutung, die bei der ästhetischen Wirkung gewissen Verhältnissen der Vorstellungen zukommt, hervorhob, hat er auf eine Seite der Gefühlsbedingungen hingewiesen, die in den bisherigen Theorien nicht gehörig beachtet war. Aber seine eigene Theorie mußte nicht minder einseitig werden, da er dieses Moment zum einzigen Angelpunkt der Gefühle machte. Dies macht sich denn auch in der ungenügenden Erklärung zahlreicher Gefühlszustände geltend. Von den Affekten behauptet HERBART, sie seien bloß von der gegenseitigen Förderung oder Hemmung der Vorstellungen abhängig, nicht vom Inhalt des Vorgestellten. Eine unbefangene Beobachtung wird aber niemals zugeben, daß Freude und

---

1 ULRICI, Leib und Seele. 1866, S. 448.

2 ARISTOTELES, De anima, 3, 2.

3 Lehrbuch zur Psychologie, und Psychologie als Wissenschaft. HERBARTS Werke, Bd. 5 und 6.

4 A. a. O. Bd. 6, S. 110. Vgl. außerdem Bd. 5, S. 369, 378, 394, 438.

Trauer, Hoffnung und Furcht bloß formale Gefühle seien, bei denen der qualitative Inhalt unseres Bewußtseins nicht in Betracht komme. Bei den sinnlichen Gefühlen vollends hat HERBART die Entstehung aus einem Verhältnis von Partialvorstellungen willkürlich angenommen und sich mit der Behauptung, dieses Verhältnis gelange nicht zum Bewußtsein, der näheren Nachweisung entzogen. Hier sind daher auch nicht alle seine Jünger dem Meister treu geblieben, sondern einige Psychologen seiner Schule trennten das sinnliche Gefühl als »Ton der Empfindung« völlig von den eigentlichen Gefühlen[1]. Verwandt mit der Auffassung HERBARTS ist die BENEKES, nach der das Gefühl in dem unmittelbaren Sich-gegeneinander-messen der Seelentätigkeiten, also wesentlich in einem formalen Verhältnis bestehen soll[2].

Von der Einsicht in die Wichtigkeit des im Gefühl unmittelbar gegebenen realen Inhalts geht nun die dritte Hypothese aus, die sich damit vor allem der formalistischen prinzipiell gegenüberstellt. Sie bezeichnet das Gefühl als den Zustand, in den die Seele durch ihre Empfindungen und Vorstellungen versetzt werde. Dasselbe ist ihr daher die subjektive Ergänzung der objektiven Empfindungen und Vorstellungen. Sobald nun in dem Gefühl nicht bloß ein Zustand der Seele, sondern zugleich die Auffassung dieses Zustandes als eines subjektiven gesehen wird, so liegt darin außerdem eine Verbindung mit der ersten Hypothese vor, da eine solche Auffassung immer eine, wenn auch dunkle, Erkenntnis voraussetzt. In der Tat vermengt sich diese Ansicht in der älteren Psychologie fortwährend mit der logischen Theorie. Erst KANT, der in seiner Kritik die objektiven und subjektiven Elemente des Erkennens schärfer als früher zu sondern versuchte, hat auch die subjektive Bedeutung des Gefühls entschiedener betont, und seine Auffassung ist bei den nicht zur HERBARTschen Schule gehörigen deutschen Psychologen im allgemeinen zur herrschenden geworden. Aber diese Hypothese greift auf die metaphysische Substanz der Seele bei einem Punkte zurück, wo hierzu weder ein Anlaß geboten noch auch wegen der sonstigen Vorbedingungen für die Bestimmung jenes Begriffs schon Raum ist. Will man sich daher auf das beschränken, was erfahrungsmäßig dem subjektiven Bestimmtsein durch die objektiven Empfindungen und Vorstellungen zugrunde liegt, so bleibt nur das Selbstbewußtsein als solches übrig. Danach wird das Gefühl als diejenige Seite des Selbstbewußtseins definiert, die sich auf den eigenen Zustand des vorstellenden Subjekts bezieht[3]. Aber dem widerstreitet die Tatsache, daß das Gefühl zu den ursprünglichsten Erlebnissen gehört, während sich das Selbstbewußtsein verhältnismäßig spät entwickelt, und mit Recht hob daher besonders A. HORWICZ hervor, daß im Gegenteil das Gefühl auf die Ausbildung des Selbstbewußtseins von bestimmendem Einflusse sei[4]. HORWICZ selbst glaubte darum das Verhältnis geradezu umkehren zu

---

[1] W. F. VOLKMANN, Lehrbuch der Psychologie[2]. I, 1875, S. 241. NAHLOWSKY, Das Gefühlsleben, S. 27.

[2] BENEKE, Psychologische Skizzen. Bd. 1, 1825, S. 31. Lehrbuch der Psychologie[3]. 1861, S. 170.

[3] Die hier angedeutete Modifikation der dritten Hypothese ist es, die ich selbst in der 1. Aufl. meiner »Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele« (1863, Bd. 2) der Erörterung der Gefühle zugrunde gelegt habe.

[4] A. HORWICZ, Psychologische Analysen auf physiologischer Grundlage. Bd. 1, 1872, S. 231 ff.

sollen[1]. Er sah die Gefühle als selbständige, und zwar als die ursprünglichsten inneren Zustände an, aus denen sich die Empfindungen und Vorstellungen entwickeln sollten. Doch ist damit nicht minder nach der andern Seite eine Unabhängigkeit des Gefühls von dem übrigen Inhalt des Bewußtseins angenommen, die unserer unmittelbaren Erfahrung durchaus widerstreitet[2].

Als eine vierte Hypothese läßt sich endlich jene betrachten, die das Gefühl auf eine bestimmte physische Nebenwirkung der Empfindungsreize zurückführt. Da von den Anhängern dieser Theorie zugestanden wird, daß das Gefühl als solches ein eigentümlicher Bewußtseinszustand sei, so verbindet oder berührt sich diese in der Regel zugleich mit irgendeiner der vorangegangenen Theorien. Sie selbst ist wieder in drei Modifikationen aufgetreten. Nach der ersten ist das Gefühl selbst eine Empfindungsqualität, und zwar die allgemeinste, die an jede Art von Reizung sensibler Nerven gebunden sei. Doch gelten besonders die Nerven der Haut und der an den Gemeinempfindungen beteiligten inneren Organe als die Träger dieser Gefühlsqualität, die in ihren intensivsten Formen als Schmerz, in ihren schwächeren als Lust erscheine. Danach werden die Gefühle allgemein auch als »Verschmelzungen von Organempfindungen« definiert. Unverkennbar ist diese Auffassung der Reflex der in der Physiologie namentlich durch JOH. MÜLLER und E. H. WEBER zur Aufnahme gelangten Lehre vom Gemeingefühl (s. oben S. 356). Daneben pflegt hier teils die früher erwähnte Vermengung der Begriffe Empfindung und Gefühl, teils auch die hypothetische Verwertung pathologischer Empfindungsstörungen eine Rolle zu spielen[3]. Eine zweite Modifikation trägt der Sonderung von Empfindung und Gefühl dadurch Rechnung, daß sie das letztere auf einen spezifischen Nervenprozeß zurückführt, der die Intensität und Qualität der Erregung begleite[4]. Für diese Annahme sollen namentlich jene Erfahrungen eintreten, die für eine Verminderung oder Aufhebung des Gefühlstones in Fällen zu sprechen scheinen, in denen die übrigen Eigenschaften der Empfindung erhalten bleiben, wie bei der sogenannten Analgesie. Nun hat aber die Zurückführung dieser auf die Funktionsunterbrechung spezifischer Nervenfasern nur geringe Wahrscheinlichkeit für sich (vgl. S. 50). Vielmehr weisen die Erscheinungen auf zentrale Bedingungen hin. Damit werden wir zu einer dritten Modifikation dieser

---

1 Psychologische Analysen. Bd. 2, II, 1878.

2 Vgl. meine Kritik dieser Theorie in Vierteljahrsschrift f. wiss. Philosophie, Bd. 3, 1879, S. 129, 308 und 342, und dieses Werk4, Bd. 1, S. 596.

3 DOMRICH, Die psychischen Zustände. 1849, S. 163. HAGEN, Psychologische Untersuchungen. 1842, S. 59. M. VON FREY, Die Gefühle und ihr Verhältnis zu den Empfindungen. 1894. MEUMANN, Intelligenz und Wille, 1908, S. 276.

4 LOTZE, Medizinische Psychologie, S. 233. OSW. KÜLPE, Vierteljahrsschr. f. wiss. Philosophie, Bd. 11, S. 424. Bd. 12, S. 50 ff. Auch die Ansichten einiger französischer Psychologen, wie RICHET (Essai de Psychol. générale, 1891), DUMONT (Théorie scientif. de la sensibilité etc. 1872, deutsch u. d. T. Vergnügen und Schmerz, 1876), TAINE (De l'intelligence, t. 1, 1892) gehören im wesentlichen hierher. Endlich läßt sich zur gleichen Kategorie von Hypothesen die Annahme MÜNSTERBERGS zählen, daß die Gefühle speziell an die Muskelempfindungen geknüpft seien, und zwar die Lustgefühle an die Aktion der Extensoren, die Unlustgefühle an die der Flexoren (Beitr. zur exper. Psychol., Heft 4, 1892, s. oben S. 313 Anm. 3). Vgl. auch DEARBORN, Psychol. Rev. Suppl. vol. 2, Nr. 5, 1899.

physiologischen Hypothese geführt, die das Gefühl als eine an bestimmte zentrale Gehirnvorgänge gebundene Bewußtseinsqualität ansieht. Hier geht man von den äußerlich sichtbaren Ausdrucksbewegungen aus. Die einfachste Art, diese für die Theorie der Gefühle zu verwerten, ist dann die, daß man das gewöhnlich angenommene Kausalverhältnis zwischen den Gefühlen und den Affekt- und Triebbewegungen umkehrte: irgendein Sinnesreiz soll durch eine zentrale Reflexwirkung äußere Bewegungen auslösen, diese sollen Empfindungen in den Muskeln und in den andern am Gemeingefühl beteiligten Organen erregen, und solchen Empfindungen sollen wir nun, je nach ihrer Beschaffenheit, den Charakter von Lust- oder Unlustgefühlen beilegen. »Wir weinen nicht,« wie W. JAMES sagt, »weil wir traurig sind, sondern wir sind traurig, weil wir weinen«[1]. Die Veränderungen der Atmungs- und Herzbewegungen sowie der Gefäßinnervation wurden dann unter den nämlichen Gesichtspunkt gebracht. So suchte C. LANGE[2] alle Gefühle und Gemütsbewegungen namentlich auf vasomotorische Wirkungen der Reize zurückzuführen. Die Verwandtschaft dieser Anschauungen mit der ersten Form der physiologischen Theorie ist augenfällig: denn wiederum sollen hier bestimmte Empfindungen der Muskeln und anderer innerer Organe als eine nicht weiter zu erklärende Eigentümlichkeit ihrer Qualität den Lust- oder Unlustcharakter besitzen. Der einzige Unterschied liegt darin, daß man den zentralen Ursprung dieser Empfindungen betont. Darin liegt dann zugleich der Keim zu weiteren Umbildungen, zu denen um so mehr Anlaß gegeben ist, als, wie ALFR. LEHMANN zuerst beobachtete, die Ausdruckssymptome nachweislich den subjektiven Erscheinungen nachfolgen, nicht vorausgehen. (Man vergleiche auch die plethysmographischen Kurven S. 304ff.) So gab denn LEHMANN[3] selbst dieser Hypothese wieder eine allgemeinere Fassung, in der sie gewissermaßen zu einer auf die Nervenzentren übertragenen Modifikation der oben erwähnten ersten Form physiologischer Deutungen wird. Danach sollen die Unlustgefühle ein zentrales Symptom dafür sein, daß die Empfindung von einer Destruktion der peripheren Organe oder von verderblichen Einwirkungen auf die Nervenleitung begleitet sei; Lust dagegen sei vorhanden, wenn das Sinnesorgan nicht überanstrengt werde. Ähnliche Hypothesen sind von TH. RIBOT und von C. STUMPF entwickelt worden. Zugleich betont dabei RIBOT besonders die Rolle, die den Gefühlen in der allgemeinen Entwickelung der organischen Funktionen zukomme. Er faßt daher die Gefühle gewissermaßen als zentrale Signale für das Wohl- oder Übelergehen des psychophysischen Organismus auf. Im wesentlichen stimmt er daher mit der obigen zweiten Form der physiologischen Theorie überein. Er scheidet sich von ihr nur durch die Hervorhebung des zentralen Sitzes der zugrunde liegenden physiologischen Veränderungen. Ins Psychologische übersetzt fallen aber alle diese Ansichten mehr oder weniger mit jener logischen Theorie zusammen, nach der Lust und Unlust in einer dunklen Erkenntnis des Nützlichen oder Schädlichen ihre Quelle haben[4].

---

[1] W. JAMES, Mind. 1884, p. 188. Psychology., vol. 2, 1890, p. 442 ff.

[2] C. LANGE, Über Gemütsbewegungen. Deutsch von H. KURELLA. 1877. Vgl. dazu meine kritischen Bemerkungen, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 349 ff.

[3] LEHMANN, Die Hauptgesetze des Gefühlslebens. 1892, S. 143 ff.

[4] TH. RIBOT, La Psychologie des sentiments². 1897. Vgl. auch W. VON TSCHISCH, Zeitschr. f. Psychol. Bd. 26, 1901, S. 14 ff.

Gegenüber solchen halb physiologischen halb intellektualistischen Auffassungen sind in neuester Zeit die meisten Psychologen, die eine Identität der Gefühle mit Organempfindungen annehmen, geneigt, wieder zu der ältesten Form dieser Hypothese zurückzukehren und einen andern Unterschied als den der diffuseren, eine Lokalisation hindernden und besonders beim Schmerz ungewöhnlich intensiven Beschaffenheit zwischen Gefühlen und Empfindungen nicht zu statuieren. Nur darin ist man noch vielfach uneinig, ob solche spezifische Empfindungen in allen sensibeln Teilen oder nur in einzelnen von ihnen, dem Gebiet des Tastsinnes und der ihm beigeordneten inneren Organe zugehörigen ihren Sitz haben. Besonders hinsichtlich des Schmerzes ist diese Frage sowie die andere, ob der Schmerz überhaupt eine Empfindung oder ein Gefühl oder beides zugleich sei, viel, jedoch ziemlich erfolglos erörtert worden[1].

Diese Divergenz der Meinungen über die Natur des Schmerzes hat wohl zum Teil in der unglücklichen, vielfach aus dem populären Gebrauch auch in die Psychologie übernommenen Terminologie ihre Quelle, nach der das Wort Schmerz entweder überhaupt oder mindestens bei den höheren Graden und bei den in das Gebiet der Affekte hinüberspielenden Formen, beim sogenannten »Seelenschmerz«, als identisch mit Unlust gebraucht wird. Hält man daran fest, daß, wie dies zunächst die Reizversuche an der äußeren Haut

---

[1] Abgesehen von den Physiologen, die unter dem traditionellen Einfluß der Begriffe Tastsinn und Gefühlssinn hierher zu zählen sind (vgl. VON FREY, Die Gefühle und ihr Verhältnis zu den Empfindungen, 1894), gehören MÜNSTERBERG, der unter den Psychologen wohl als der erste ausdrücklich auf Grund des Prinzips der Vereinfachung der Betrachtung die Identität von Empfindung und Gefühl behauptet (Beiträge zur experimentellen Psychologie, I, 1889, S. 26, Psychologie, Bd. 1, 1900, S. 309 ff.), und besonders MEUMANN hierher (Intelligenz und Wille, 1908, S. 117, 276). Vgl. dazu meine Bemerkungen Psychol. Stud. Bd. 5, S. 1 ff. Für die ungeheure Divergenz der Ansichten über die Natur des Schmerzes ist es übrigens bezeichnend, daß z. B. GOLDSCHEIDER diesen lediglich für die intensivste Empfindung erklärt, die in jedem Empfindungsgebiet vorkommen könne, selbst aber keine spezifische Empfindungsqualität sei (Archiv für Anatomie und Physiol. 1885, Suppl. MARTIUS, Über den Schmerz, 1889), während umgekehrt MARSHALL (Rev. 1892) den Schmerz eine spezifische Empfindung nennt, die sich, ähnlich wie andere Empfindungen, je nach ihrer Stärke (siehe oben Fig. 242), zwischen einer Lust- und einer Unlustphase bewege. Hier glaube ich der letzteren Behauptung wenigstens insofern zustimmen zu können, als der dem Schmerz in der Regel allgemein zugeschriebene Unlustcharakter bei den schwächsten Schmerzempfindungen, namentlich der äußeren Haut, die gleichwohl die eigentümliche Qualität des Schmerzes noch deutlich erkennen lassen, der Gefühlston der Unlust noch fehlt. Ob es aber auch hier, dem allgemeinen Verlauf der Gefühlskurve in Fig. 242 entsprechend, ein Anfangsstadium der Lusterregung gibt, oder ob nur der unter der Abszissenlinie verlaufende Teil gilt, wie LEHMANN (Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens, 1892, S. 181) mit der Mehrzahl der Psychologen behauptet, darüber müßten erst Zeugnisse aus der objektiven Symptomatologie der Gefühle entscheiden. Vgl. über diese und andere Annahmen die Zusammenstellung von FEILCHENFELD, Zeitschr. für Sinnesphysiologie, Bd. 42, 1908, S. 172 ff. und ebend. S. 313 ff. Die in der letzteren Arbeit behandelte Frage, ob der Blendungsschmerz von der Reizung der Optikus- oder anderer sensibler Nervenfasern ausgehe, ist, ebenso wie bei den andern spezifischen Sinnesgebieten, besonders bei Gehör und Geruch, deshalb kaum zu entscheiden, weil überall die Sinnes- von andern sensiblen Nervenfasern begleitet sind, z. B. der Optikus von solchen, die sich zu den Gefäßhäuten des Auges begeben. Da hier starke Blendung in erster Linie Erkrankungen der Aderhaut und Iris, erst in zweiter Netzhautaffektionen im Gefolge hat, so ist es wohl nicht unwahrscheinlich, daß auch der Blendungsschmerz in den nervenreichen Gefäßmembranen seinen Sitz hat.

lehren, die Schmerzempfindung zunächst eine spezifische, von den Druck- und Temperaturempfindungen der Haut verschiedene Empfindungsqualität ist, die dann aber auch in andern Sinnesgebieten und in gewissen inneren Organen unter bestimmten Bedingungen ebenfalls vorkommt, so läßt sich diese Qualität nur als eine Empfindung auffassen, die sich besonders leicht, namentlich bei ihren höheren Intensitäten, mit starkem Unlustgefühl verbindet, der aber daneben doch der charakteristische Empfindungsbestandteil nicht fehlt, wie das besonders bei schwachen Schmerzempfindungen zu beobachten ist, bei denen das Unlustgefühl unmerklich werden kann, während die Empfindung vollkommen deutlich zu unterscheiden ist. In diesem Sinne läßt sich daher der Schmerz gerade so gut wie etwa eine Licht- oder Klangerregung in einen Empfindungs- und einen Gefühlsfaktor zerlegen, und es besteht, sobald man nur den psychologischen Begriff des Gefühls fest- und die alte Vermengung mit der Bezeichnung des Tastsinns als »Gefühlssinn« ferne hält, nicht der geringste Grund, den Schmerz entweder einseitig als eine bloße Empfindung oder aber als ein bloßes Gefühl aufzufassen. Letzteres um so weniger, als es Gefühle ohne begleitende Empfindungen oder Vorstellungen überhaupt nicht gibt, während allerdings umgekehrt diese objektiven Bestandteile des Bewußtseins infolge der oben (S. 298) hervorgehobenen bipolaren Beschaffenheit der Gefühle sehr wohl ohne merkliche Gefühlsfaktoren möglich sind. Die letztere Tatsache ist es denn auch, welche die zuerst in der HERBARTschen Schule entstandene Auffassung, der »Gefühlston« sei gewissermaßen eine dritte, neben Intensität und Qualität allen Empfindungen zukommende Dimension, unmöglich macht[1].

Auch der von C. STUMPF gemachte Versuch, diese Schwierigkeit durch die Annahme spezifischer »Gefühlsempfindungen« zu beseitigen, d. h. von Empfindungen, die bald mit bald ohne die gewöhnlichen Sinnesempfindungen vorkommen und daher die relative Unabhängigkeit der Gefühle begreiflich machen sollen, dürfte hier kein zureichendes Auskunftsmittel bieten[2]. Denn erstens ist es unmöglich, ein physiologisches Substrat solcher spezifischer Gefühlsempfindungen nachzuweisen, noch macht zweitens diese Hypothese begreiflich, wie sich diese spezifische Empfindungsqualität mit ganz disparaten andern Empfindungen, z. B. von Klang und Farbe oder gar mit Vorstellungsinhalten der Affekte und der ästhetischen Elementarwirkungen, in jenen übereinstimmenden Formen verbinden kann, wie wir sie z. B. bei den Analogien zwischen tiefen Tönen und dunkeln Farben, hohen Tönen und hellen Farben usw. beobachten. Die sogenannte »Gefühlsempfindung« scheint mir hier lediglich das Produkt einer Begriffszerlegung der drei in der Regel bei einer Empfindung beobachteten Faktoren zu sein, bei der man sich der

---

[1] Aus der HERBARTschen Schule gehört hierher besonders NAHLOWSKY, Das Gefühlsleben. 1862, S. 13, während VOLKMANN (Lehrbuch der Psychologie[2], Bd. 2, S. 312 ff.) den Begriff des Gefühlstones mit dem HERBARTschen vom Gefühl als einer Spannung zwischen den Vorstellungen in Einklang zu bringen suchte. Ähnliche Anklänge an die HERBARTsche Psychologie reichen auch noch in TH. LIPPS' im übrigen viele treffliche psychologische Beobachtungen enthaltenden Ausführungen hinüber (TH. LIPPS, Vom Fühlen, Wollen und Denken[2], 1907). Unter den neueren Psychologen hat vornehmlich ZIEHEN (Leitfaden der Physiologischen Psychologie[5], 1900, S. 125) die Annahme eines Gefühlstons im Sinne einer dritten Dimension der Empfindung festzuhalten gesucht.

[2] C. STUMPF, Über Gefühlsempfindungen, Zeitschr. für Psychol. Bd. 44, 1907, S. 1 ff.

näheren physiologischen und psychologischen Bedingungen dieser Faktoren dadurch enthebt, daß die durch solche Zerlegung gewonnenen Begriffe selbst in Empfindungen umgewandelt werden. Dabei macht man dann von dem allgemeinem Prinzip Gebrauch, daß einfache Empfindungen überhaupt als gegebene Größen hingenommen werden müssen, über deren Herkunft wir, insofern sie einfache Bewußtseinsqualitäten sind, nichts aussagen können. Aber solche von dem sonstigen Bewußtsein relativ unabhängige Qualitäten sind eben die Gefühle nicht; sie sind es selbst dann nicht, wenn man sie im Widerspruch mit den oben geltend gemachten Erfahrungen auf die Dimension der Lust und Unlust einschränkt. Denn auch diese sind so sehr von der Gesamtlage des Bewußtseins und insbesondere von den Assoziations- und Apperzeptionsprozessen abhängig, daß hier jede Analogie mit den eigentlichen Sinnesempfindungen, die eine Zuordnung zu diesen rechtfertigen würde, versagt.

Mit diesem Streit über die sogenannten Gefühlstöne der Empfindungen hängt nun schließlich noch eine andere Streitfrage zusammen: die nach der Ein- oder Mehrdimensionalität der Gefühle. Die Gegensätze der Lust und der Unlust haben sich seit alter Zeit schon wegen ihrer Übertragung aus dem sinnlichen auf das ästhetische und ethische Gebiet, wo man Schön und Häßlich, Gut und Böse als Modifikationen derselben betrachtete, eines besonderen Vorzugs zu erfreuen gehabt[1]. In der neueren physiologisch gerichteten Psychologie haben dann noch als zwei weitere Motive das der »Sparsamkeit« und die aus der Physiologie übernommene Vermengung der Gefühle mit den Tastempfindungen mitgewirkt. Indem man das Prinzip der Sparsamkeit von den aufzustellenden Hypothesen, wo es zweifellos berechtigt ist, auf die zu beobachtenden Tatsachen überträgt, wo es ebenso gewiß der Berechtigung entbehrt, nimmt man die Dimension der Lust-Unlustgefühle als die einzige an. Wo ein Gedanke an andere Gefühlsqualitäten sich regen könnte, da werden dann diese entweder als Modifikationen der Lust oder Unlust, namentlich als verschiedene Intensitätsgrade derselben, oder aber als begleitende Empfindungen angesehen. Eigentliche Beweise für diese oft als selbstverständlich hingestellte Beschränkung hat man aber niemals beigebracht; und die theoretischen Anhänger der Lust-Unlusthypothese widersprechen in der Praxis in der Regel fortwährend dieser Annahme, indem sie namentlich bei der Behandlung der Stimmungen und Affekte beliebig andere Gefühle einführen, die eine Einordnung in jene Dimension nicht zulassen. Dahin gehört z. B. die Spannung bei der Erwartung, ihre Lösung bei dem Eintrittt des Erwarteten, die Erregung beim Zorn oder der Freude. Zweitens sucht man zwar diese Gefühle aus Muskelempfindungen u. dergl. abzuleiten. Da aber die letzteren auch ohne jene subjektiven Gefühle vorkommen können, wie z. B. bei unwillkürlicher Bewegung oder elek-

---

[1] Vgl. z. B. KANT, Anthropologie, 2. Buch, § 59 ff. und die Behandlung dieses Gegenstandes bei FR. JODL, Psychologie, Bd. 2, der im Sinne einer solchen Differenzierung Gefühle primärer, sekundärer und tertiärer Stufe unterscheidet, sie alle aber den Gegensätzen der Lust und Unlust unterordnet. Hier ist, wie man deutlich sieht, besonders die bekannte schematisierende Behandlung der Ästhetik als einer angeblichen »Lehre vom Schönen« den entsprechenden vereinfachenden Abstraktionen der Psychologen zu Hilfe gekommen. Vgl. hierzu meine Völkerpsychologie Bd. 3² (Die Kunst). S. 552 f.

trischer Reizung der Muskeln, so hilft man sich dann meist damit, daß die Affekte selbst als eigenartige, von den Gefühlen gänzlich verschiedene und irgendwie dem intellektuellen Gebiet angehörende Vorgänge interpretiert werden. Damit befindet man sich dann wieder inmitten jener willkürlichen physiologischen Hypothesenbildungen, wie sie uns bereits in der Zurückführung der Gefühle auf Organempfindungen u. ähnl. begegnet sind. Immerhin hat die in neuerer Zeit allmählich sich durchsetzende Opposition gegen diese willkürliche Einschränkung des Gefühlsbegriffs einzelne Psychologen, die sich der Lust-Unlusttheorie zuneigen, veranlaßt, die direkte Beobachtung zu Hilfe zu nehmen, um die Frage zu entscheiden. Doch begnügte man sich dabei meist mit der einfachen Selbstbeobachtung oder mit der Ausfragemethode, ein Verfahren, das in Anbetracht der Suggestionseinflüsse, denen gerade bei den Gefühlen die Selbstbeobachtung so leicht zugänglich ist, die größten Bedenken erregt (Bd. 1, S. 41). Kann doch die Suggestion hier ebensogut positiv durch die Eingebung bestimmter Gefühle, wie negativ in dem Sinne wirken, daß sie zugunsten einer vorgefaßten Meinung Gefühle oder Empfindungen hinwegsuggeriert, gerade so, wie es z. B. möglich ist, einem Individuum ein Objekt aus seinem Gesichtsraum hinwegzusuggerieren (vgl. unten Kap. XX). Nur E. B. TITCHENER hat den Versuch gemacht methodischer zu verfahren und mit Hilfe einer auch sonst namentlich auf dem Gebiet der einfachen ästhetischen Elementargefühle vielfach mit Erfolg angewandten Form der Eindrucksmethode, der Methode der »paarweisen Vergleichung« der Wirkung je zweier gefühlserregenden Reize, der Frage experimentell näher zu treten[1]. Doch ist er zu einem entscheidenden Resultat nicht gelangt. Auch war dies, wie ich glaube, auf dem eingeschlagenen Wege nicht wohl möglich. TITCHENER benützte nämlich Reize, die entweder Gefühle der Lust-Unlustreihe und zugleich solche der Erregungsreihe oder aber Lust-Unlust gemischt mit Spannung-Lösung hervorbringen konnten. Für den ersten Fall wandte er musikalische Klänge, für den zweiten Metronomschläge an, und er stellte nun in jeder Versuchsgruppe dem Beobachter die Aufgabe, über den Grad des entsprechenden Gefühls Auskunft zu geben. Dabei ergab sich dann, daß entweder die Kurve der Lust-Unlustgrade mit der der beiden andern Gefühlspaare einen analogen Verlauf zeigte, oder daß die Kurven auf eine Verschmelzung verschiedener Gefühle miteinander hinwiesen. Nun ist gewiß zuzugeben, daß solche Mischungen, wie das ja auch von vornherein das Schema der Fig. 230 andeutet, fast regelmäßig vorkommen. Aber weder hieraus noch aus einem irgendwie annähernd ähnlichen Verlauf der Urteilskurve läßt sich hinsichtlich der Ein- oder Mehrdimensionalität der Gefühle ein bestimmter Schluß ziehen. Hier bleibt, so lange man bloß die Eindrucksmethode anwendet, jedenfalls die Tatsache entscheidender, daß für das unmittelbare Gefühl die Reihe der Töne ebenso wie die der Farben nicht mit einer Reihe von Lust-Unlustgefühlen sich deckt.

Einen andern Weg, der sich freilich ebenfalls auf eine hypothetische Annahme stützt, hat endlich O. KÜLPE eingeschlagen[2]. Nach dieser An-

[1] TITCHENER, Phil. Stud. Bd. 20, 1902, S. 382 ff.

[2] Bis jetzt sind KÜLPES Beobachtungen und Folgerungen übrigens nur aus seinen auf Kongressen gehaltenen Vorträgen bekannt. Vgl. DEUCHLER, Bericht über den III. internationalen Kongreß für Philosophie in Heidelberg, 1908, Archiv für die ges. Psychologie, Bd. 14, 1909, S. 183 ff.

nahme soll das charakteristische Merkmal der Gefühle ihre »Unvorstellbarkeit« sein. Da sich nämlich alle Vorstellungen aus Empfindungen zusammensetzen, so liege in der regelmäßigen Vorstellbarkeit eines Gefühls zugleich ein Beweis dafür, daß es selbst aus Empfindungen bestehe. Nun erklärten KÜLPES Beobachter in der Tat einmütig, es sei ihnen zwar möglich, Lust und Unlust ohne jedes Vorstellungssubstrat in das Bewußtsein zu heben, bei Erregung, Spannung usw. sei ihnen das aber nicht möglich. Daraus schließt KÜLPE, daß nur Lust und Unlust wirkliche Gefühle, die andern dagegen Empfindungen seien. Nun würde aber dieser Schluß offenbar nur dann zulässig sein, wenn es überhaupt möglich wäre, Lust und Unlust ohne begleitende Empfindungen durch Suggestion hervorzurufen. Das ist aber tatsächlich nicht möglich. Man vergegenwärtige sich z. B. nur die starken Änderungen, die eine durch Suggestion hervorgebrachte Unluststimmung in Puls und Atmung hervorbringt (Fig. 237, S. 307), und man wird zugeben, daß physische Reaktionen wie diese ohne erhebliche Organempfindungen nicht möglich sind. Dazu kommen aber die nicht minder unausbleiblich solche suggestiv erzeugte Gefühle begleitenden mimischen Bewegungen. Man fordere jemanden auf, sich in eine intensive Unluststimmung zu versetzen, und seine mimischen Muskeln werden sofort darauf reagieren: mit den mimischen Ausdrucksbewegungen sind aber wiederum die entsprechenden Spannungsempfindungen von Haut und Muskeln verbunden. Nach meinen Beobachtungen würde ich die Gefühle nach der Intensität solcher begleitender Empfindungen etwa in folgende absteigende Reihe ordnen: Unlust, Erregung, Lust, Spannung, Beruhigung, Lösung.

Schon in der ersten Auflage dieses Werkes (1874, S. 436 ff.) habe ich, vornehmlich auf die im Gebiet der Klänge und Farben sich bietenden Gefühlswirkungen gestützt, auf die Unzulänglichkeit der Lust-Unlustreihe zur Schilderung der Gefühle hingewiesen. Später traten dann dazu noch die namentlich bei Zeitsinn- und Rhythmusversuchen zu beobachtenden Spannungs- und Lösungsgefühle, und schließlich schienen sich mir aus den von ALFR. LEHMANN in größerer Zahl mitgeteilten sphygmographischen und plethysmographischen Kurven die Gesichtspunkte für die oben ausgeführte dreidimensionale Anordnung zu ergeben[1]. Eine beachtenswerte Bestätigung dieses Ergebnisses darf schließlich wohl darin gesehen werden, daß O. VOGT unabhängig auf einem von dem hier verfolgten wesentlich abweichenden Wege, nämlich durch die subjektive Analyse der Gefühle in der Hypnose, zu Folgerungen gelangt ist, die hinsichtlich der Hauptrichtungen der Gefühle mit den obigen übereinstimmen. Vom psychopathologischen Standpunkte aus hat überdies O. BINSWANGER auf das Ungenügende der herkömmlichen Lust-Unlusttheorie hingewiesen und im wesentlichen den hier vertretenen Anschauungen zugestimmt[2]. Übrigens ist auch sonst noch unabhängig von manchen Psycho-

[1] Vgl. Grundriß der Psychologie, § 7, Philos. Stud. Bd. 15, 1899, S. 149 ff. Dazu ferner M. BRAHN, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 127 ff. ALECHSIEFF, Bd. 3, S. 156 ff. SALOW, Bd. 4, S. 1 ff.

[2] O. VOGT, Zeitschr. für Hypnotismus, Phil. Stud. Bd. 18, 1901, S. 127 ff. BINSWANGER, Die psychologische Denkrichtung in der Heilkunde, Rektoratsrede, Jena 1900.

logen sonst abweichender Richtung die Überzeugung von einer Mehrzahl einfacher Gefühle ausgesprochen worden[1].

---

[1] Als Hauptvertreter der Annahme einer Vielheit von Gefühlsrichtungen, die übrigens zum Teil wieder mehr oder weniger weit auseinandergehen, seien hier angeführt: TH. ZIEGLER, Das Gefühl. 1893. REHMKE, Zur Lehre vom Gemüt. 1898. TH. LIPPS, Selbstbewußtsein, Empfindung und Gefühl. 1901. (Grenzfragen des Nerven- und Seelenlebens, herausg. von LÖWENFELD und KURELLA, Heft 9.) In seinen neuesten psychologischen Arbeiten (Fühlen, Wollen und Denken[2], 1907, und 2. Aufl. des Leitfadens der Psychologie, 1906) vertritt allerdings LIPPS eine Auffassnng, bei der der Versuch einer einheitlichen Ableitung aller Gefühle aus der zunächst im »Streben« zum Ausdruck kommenden Tätigkeit des Ich oder der Seele die Anerkennung der Mannigfaltigkeit der Gefühle stark in den Hintergrund drängt. Dies hängt wohl damit zusammen, daß LIPPS' Anschauungen eine logizistische Richtung genommen haben, in der sie an FICHTEs Dialektik und an HERBARTS psychische Mechanik zugleich erinnern.

Dritter Abschnitt.

Von der Bildung der Sinnesvorstellungen.

Zwölftes Kapitel.

Intensive Vorstellungen.

1. Allgemeine Eigenschaften intensiver Vorstellungsverbindungen.

a. Allgemeines über Begriff und Formen der Vorstellung.

Der Sprachgebrauch begreift unter einer Vorstellung das in unserm Bewußtsein erzeugte Bild eines Gegenstandes. Die Psychologie muß diesen Begriff, um ihm alle ihm an und für sich fremden Reflexionsmotive fern zu halten, in jenem allgemeinsten Sinne verstehen, in dem er ebensowohl Sinneswahrnehmungen wie Erinnerungs- und Phantasiebilder umfaßt, da es nirgends durchgreifende tatsächliche Merkmale gibt, durch die sich diese verschiedenen Arten von Vorstellungen unterscheiden[1]. Bei dem »Bild eines Gegenstandes« muß sie aber dessen eingedenk bleiben, daß dieser Ausdruck selbst ein bildlicher ist. Die Vergleichung mit einem Gegenstand und seinem Bild im Spiegel soll hier nur die Beziehung auf Objekte außerhalb des Bewußtseins als eine wesentliche Eigenschaft der Vorstellungen hervorheben, durch die sie von der zweiten großen Klasse zusammengesetzter psychischer Gebilde, von den unmittelbar auf Zustände des Bewußtseins selbst bezogenen Gemütsbewegungen, unterschieden werden. Dagegen abstrahiert jene Vergleichung ganz von dem Umstande, daß der Gegenstand und sein Spiegelbild in Wirklichkeit zwei Objekte sind, die darum auch gleichzeitig von uns wahrgenommen

---

[1] Vgl. Bd. 1, S. 404 f.

werden können. Dagegen ist die Außenwelt dem Bewußtsein überhaupt nur in seinen Vorstellungen anschaulich gegeben, so daß hier das »Bild des Gegenstandes« mit dem Gegenstande selber zusammenfällt. Darum begründet es nun auch keinen wesentlichen Unterschied in den Eigenschaften der Vorstellung, wenn dieser in gewissen Fällen, wie wir auf Grund sekundärer Merkmale erkennen, ein wirkliches Objekt überhaupt nicht entspricht. Alle diese Vorstellungen ohne wirklich existierende Objekte, mögen wir sie nun nach jenen ferneren Merkmalen als Halluzinationen, als Erinnerungs- oder als Phantasiebilder bezeichnen, werden an sich ganz so wie die unmittelbaren Sinnesvorstellungen als Gegenstände mit objektiv gegebenen Eigenschaften aufgefaßt. Außerdem lehrt die Erfahrung, daß sie entweder in ihrer Totalität oder in ihren einzelnen Teilen auf früher dagewesene unmittelbare Sinnesvorstellungen, sogenannte »Sinneswahrnehmungen« zurückgehen. Denn die Empfindungen, aus denen sie sich zusammensetzen, müssen irgend einmal durch Empfindungsreize entstanden sein, um dem Bewußtsein verfügbar zu bleiben. Dabei ist der Begriff des Empfindungsreizes wiederum in jenem allgemeinsten Sinne zu nehmen, in welchem er nicht bloß die Einwirkungen auf die eigentlichen Sinnesorgane, sondern auch die in den inneren, mit sensibeln Nerven ausgerüsteten Organen des Körpers entstehenden Reize umfaßt[1]. Wegen dieser Abhängigkeit aller Vorstellungen von unmittelbar vorhandenen oder mindestens einmal vorhanden gewesenen äußeren Reizen bezeichnet man denn auch diejenigen Vorstellungen, denen kein wirklich gegebener objektiver Eindruck entspricht, sämtlich als reproduzierte Vorstellungen. Doch muß freilich diesem Ausdruck von vornherein die Warnung beigefügt werden, daß man ihm, da er eben nur das Erzeugnis einer ersten oberflächlichen Unterscheidung auf Grund sekundärer Merkmale ist, keinen für die psychologischen Eigenschaften der Vorstellungen irgendwie endgültigen Wert zuschreiben darf. Vielmehr werden wir uns genugsam überzeugen, daß es in unserer Erfahrung keine einzige unmittelbare Sinnesvorstellung gibt, in die nicht irgendwelche reproduktive Elemente eingehen, und daß ebenso in den meisten, wenn nicht in allen Fällen das, was man, an der Totalität der Merkmale gemessen, eine »reproduzierte Vorstellung« nennt, von irgendwelchen äußeren Sinneserregungen begleitet ist. Diese tatsächliche Unmöglichkeit, die Grenzen zwischen unmittelbaren und reproduzierten Vorstellungen irgendwie strenge zu ziehen, hängt nahe mit einer andern Eigenschaft zusammen, auf die früher schon hingewiesen wurde, und die zu übersehen schon das Wort »Vorstellung« und noch mehr jene geläufige Auffassung, diese sei das

[1] Vgl. Bd. 1, S. 421 f.

»Bild eines Gegenstandes«, so leicht verführt[1]. Unsere Vorstellungen sind, so wenig wie unsere Gemütsbewegungen, ruhende Objekte, sondern sie sind zeitlich verlaufende, in keinem einzigen Moment stillstehende Vorgänge; und indem bei diesem unablässigen Wechsel meist einzelne ihrer Elemente bleibender sind als andere, kann es zugleich geschehen, daß den direkt gegebenen Bestandteilen eines Sinneseindrucks in veränderlicher Weise reproduktive sich beimischen. Aus allem dem ergibt sich die Analyse der direkt in den Sinneseindrücken und den ihnen entsprechenden Empfindungen gelegenen Bedingungen der Vorstellungsbildung als die nächste und einfachste Aufgabe für die Untersuchung dieser objektiven Klasse psychischer Gebilde. Doch muß schon hier, in Anbetracht jenes nirgends durch feste Grenzen zu scheidenden Charakters der Vorstellungen, vielfach diese Analyse auf mitwirkende assoziative Einflüsse anderer, gleichzeitiger und vorausgegangener Vorstellungen und Vorstellungselemente zurückgehen, deren nähere Betrachtung uns später, bei der Untersuchung des gesamten Zusammenhangs der Bewußtseinsvorgänge beschäftigen wird (Abschn. V).

b. Intensive und extensive Vorstellungen.

Im vorigen Abschnitt haben wir die Empfindungen als die Elemente der Vorstellungen kennen gelernt[2]. Abstrahieren wir von den an die Empfindungen und Vorstellungen gebundenen Gefühlselementen, so ist jede Vorstellung in Empfindungen zerlegbar, und die Empfindungen selbst sind uns hinwiederum in der Wirklichkeit immer nur als Elemente von Vorstellungen gegeben. Damit ist zugleich die Aufgabe einer Lehre von der Bildung der Sinnesvorstellungen klar bezeichnet. Diese Aufgabe ist eine doppelte: eine analytische und eine synthetische. Jene hat die Empfindungselemente aufzuzeigen, die sich in den Hauptformen der in unserem Bewußtsein vorkommenden Vorstellungen und in ihren wichtigeren einzelnen Gestaltungen vorfinden. Diese hat darzutun, wie sich diese Elemente miteinander zu komplexen Gebilden verbinden, und wie sie sich dabei durch die Einflüsse verändern, die sie teils aufeinander ausüben, teils von den sonst im Bewußtsein vorhandenen Inhalten aus erfahren. Das Hauptziel dieses synthetischen Teils der Untersuchung besteht so schließlich in der Aufzeigung der spezifischen Beschaffenheit der einzelnen Grundformen unserer Sinnesvorstellungen und ihres Verhältnisses zu den in sie eingehenden Empfindungselementen. Hierbei hat natürlich die Annahme, daß die Vorstellungen lediglich aus einer Summe von Emp-

---

[1] Vgl. Bd. 1, S. 405 f.
[2] Bd. 1, S. 409 ff.

findungen bestehen, von vornherein als eine zwar mögliche, aber keineswegs notwendige und kaum wahrscheinliche zu gelten. Vielmehr wird immer erst aus den Eigenschaften der entstehenden Produkte, der Vorstellungen selber, und aus den Bedingungen, unter denen diese sich verändern, auf die Natur der stattfindenden Verbindungsprozesse zurückzuschließen sein. Die hier zu befolgende Maxime besteht somit lediglich darin, daß die Voraussetzungen über die psychischen Prozesse der Vorstellungsbildung über alle die Einflüsse Rechenschaft geben müssen, welche die experimentelle Variation der Bedingungen als tatsächlich stattfindende nachweist. Ebenso ist nun aber die bei dem analytischen Teil dieser Untersuchung zunächst vollführte Abstraktion von den Gefühlselementen des Bewußtseins selbstverständlich nur so lange festzuhalten, als sich nicht bei der Analyse der Vorstellungen ein bestimmender Einfluß derselben herausstellt. In der Tat werden wir sehen, daß bei einer sehr wichtigen Klasse von Vorstellungen, bei denen des zeitlichen Geschehens, dieser Einfluß bestimmter Gefühle ein durchaus maßgebender ist, so daß man im Hinblick hierauf den zeitlichen Vorstellungen einen gemischten, zum Teil schon in das Gebiet der im nächsten Abschnitt zu betrachtenden Gemütsbewegungen herüberreichenden Charakter zuschreiben kann.

Suchen wir nun mit Rücksicht auf die oben bezeichneten allgemeinen Aufgaben einer Theorie der Vorstellungsbildung die mannigfaltigen Erscheinungen dieses Gebietes in bestimmte Gruppen zu sondern, so können für eine solche Klassifikation die zwei Gesichtspunkte in Betracht kommen, die durch jene Gliederung der Aufgabe in einen analytischen und in einen synthetischen Teil an die Hand gegeben werden. Geht man von dem ersteren aus, so scheiden sich die Vorstellungen ohne weiteres nach einzelnen Sinnesgebieten, deren Empfindungssysteme ihre wesentlichen Substrate bilden. Auf diese Weise sind die hergebrachten Unterscheidungen der Tast-, Gehörs-, Gesichtsvorstellungen usw. entstanden. Legt man dagegen den synthetischen Gesichtspunkt zugrunde, so werden vielmehr die eigentümlichen Verbindungsweisen der Empfindungen maßgebend sein, gleichgültig wie diese selber beschaffen sind. Hier lassen sich dann nach den unmittelbaren Eigenschaften der Vorstellungen ohne weiteres drei Gruppen unterscheiden: eine erste, bei der sich die in eine Vorstellung eingehenden Empfindungen zu einem Ganzen verbinden, das, wie jedes der sie konstituierenden Elemente, lediglich qualitative und intensive Eigenschaften erkennen läßt, und wo demnach der Unterschied dieses Vorstellungsganzen von einer einfachen Empfindung nur darin besteht, daß die Qualität und die Intensität desselben von zusammengesetzter Beschaffenheit sind: wir wollen die so entstehenden Gebilde als intensive Vorstellungen bezeichnen. Ihnen stehen als zwei weitere Gruppen die

räumlichen und die zeitlichen Vorstellungen gegenüber, die wir beide wieder unter dem Gesamtbegriff der extensiven Vorstellungen zusammenfassen können.

Nun erhellt ohne weiteres, daß diese synthetische Klassifikation mit der analytischen nach den Empfindungsgebieten schon deshalb in keinem Punkte zusammentreffen kann, weil jede Vorstellung, welchem Sinnesgebiet sie auch angehören mag, in jede der synthetischen Gruppen zugleich fällt. So ist z. B. jede Gehörsvorstellung eine intensive Verbindung, insofern ihre Qualität und Intensität unmittelbar durch die qualitativen und intensiven Eigenschaften der in sie eingehenden Tonempfindungen bedingt wird; sie hat aber stets zugleich eine bestimmte zeitliche Dauer, und wir beziehen sie im allgemeinen auch auf eine Richtung oder selbst auf einen Ort im Raume. So ist ferner jede Gesichtsvorstellung wiederum eine intensive Verbindung verschiedener Lichtempfindungen, in die zugleich, wie wir sehen werden, aller Wahrscheinlichkeit nach stets noch andere Empfindungen eingehen, die an die Stellungen und Bewegungen des Auges geknüpft sind; sie zeigt aber außerdem in sehr ausgeprägter Weise eine räumliche Ordnung ihrer Bestandteile, und es fehlen endlich auch ihr nicht die zeitlichen Eigenschaften, usw. Darum sind die Begriffe intensive, extensive, räumliche und zeitliche Vorstellungen wiederum, analog wie die der reinen Empfindungen, Ergebnisse einer Abstraktion, nur gewissermaßen einer Abstraktion zweiter Ordnung, insofern dabei nicht auf die letzten, weiterhin unzerlegbaren Elemente der Vorstellungen, sondern auf gewisse Richtungen der Vorstellungsverbindung zurückgegangen wird, während die andern, in Wirklichkeit niemals fehlenden Richtungen zunächst außer Betracht bleiben. Auch läßt sich von vornherein nicht verkennen, daß jene in jeder Vorstellung in Wirklichkeit untrennbar verbundenen Momente in den verschiedenen Fällen nicht ganz die gleiche Bedeutung für die Konstitution einer Vorstellung besitzen. So hat eine Gehörsvorstellung offenbar in erster Linie intensive und zeitliche Eigenschaften. Die räumlichen treten in ihr zurück: sie können sich zuweilen zu völliger Unbestimmtheit verflüchtigen, und selbst da, wo sie zu bemerken sind, ordnen wir deutlich die Schalleindrücke in dem durch die andern, spezifisch räumlichen Sinne bestimmten Raume. Da wir nun aber auch von den zeitlichen Eigenschaften der Gehörsvorstellungen leicht abstrahieren können, weil wir bei einem gleichförmig andauernden Klang oder Geräusch dieses Moment der Dauer insoweit außer Betracht lassen, als in ihm nicht gewisse für den intensiven Charakter wesentliche Bedingungen gegeben sind, so bieten diese Vorstellungen eine besonders günstige Gelegenheit, um die Eigenschaften intensiver Vorstellungsverbindungen als solcher zu untersuchen. In diesem Sinne einer

hier leicht auszuführenden relativen Abstraktion von ihren beiden extensiven Eigenschaften können wir daher die Gehörsvorstellungen als ein typisches Beispiel intensiver Vorstellungen in der oben festgestellten Bedeutung dieses Wortes betrachten. Umgekehrt bieten dagegen der Tast- und Gesichtssinn die räumliche Ordnung der Empfindungen unmittelbar als eine so sehr vorwaltende Eigenschaft, daß hier leicht von der intensiven Seite der Verbindungen sowie in einem gewissen Umfange auch von den zeitlichen Eigenschaften derselben vorläufig abstrahiert werden kann, wodurch dann diese Vorstellungen als die im eminenten Sinne räumlichen zurückbleiben. Nicht ganz so erscheinen dagegen die zeitlichen Vorstellungen bestimmten Sinnesgebieten in bevorzugter Weise zugeteilt. Zwar läßt sich nicht verkennen, daß auch hier gewisse Empfindungen, nämlich die des Gehörssinns und die an die Bewegungen unseres eigenen Körpers gebundenen inneren Tastempfindungen, in besonderem Maße geeignet sind, genau bestimmte und quantitativ vergleichbare Zeitvorstellungen zu erwecken. Dabei sind aber doch zeitliche Dauer und zeitlicher Wechsel so unauflöslich nicht nur an alle andern Sinneseindrücke, sondern auch an den Verlauf aller Bewußtseinsvorgänge gebunden, daß hier von vornherein den zeitlichen Vorstellungen ein allgemeinerer, alle andern Formen zugleich in sich schließender Umfang zugestanden werden muß.

Durch diese Erwägungen wird der folgenden Betrachtung ihr Weg vorgezeichnet. Da sich der synthetische Gesichtspunkt als der allgemeinere und als derjenige herausstellt, der in erster Linie den psychologischen Eigenschaften der Vorstellungen gerecht wird, so werden nach ihm zunächst die Grundformen der intensiven und der ihnen gegenüberstehenden extensiven Vorstellungen mit ihren beiden Hauptgruppen, den räumlichen und zeitlichen, zu scheiden sein. Der näheren Untersuchung dieser Grundformen werden wir dann aber jeweils die nach dem analytischen Gesichtspunkt vorzugsweise geeigneten Vorstellungsgebiete zugrunde legen: den intensiven die Gehörsvorstellungen, den räumlichen die Tast- und Gesichtsvorstellungen. Dagegen wird die Untersuchung der zeitlichen Vorstellungen zwar ebenfalls von denjenigen Sinnesgebieten ausgehen müssen, denen die Eigenschaft, scharf ausgeprägte Zeitvorstellungen zu erwecken, in besonderem Maße zukommt. Wegen der oben berührten allgemeineren Beziehungen der Zeitvorstellungen wird aber dabei doch den zeitlichen Verhältnissen der übrigen Vorstellungsformen sowie der Bedeutung der Zeitvorstellungen für die Gesamtheit der seelischen Vorgänge Rechnung zu tragen sein. Indem wir die Betrachtung der räumlichen Vorstellungsformen ausschließlich der Psychologie der beiden spezifischen Raumsinne, des Tast- und Gesichts-

sinnes, zuweisen, ergibt sich übrigens hieraus von selbst, daß die räumlichen Beziehungen der andern Sinnesgebiete, z. B. der Gehörseindrücke, in Verbindung mit jenen, und zwar speziell mit dem allgemeineren derselben, dem Tastsinn, zu behandeln sind, eine Verbindung, die ihre sachliche Rechtfertigung auch darin findet, daß jene Beziehungen stets die Mitwirkung der beiden räumlichen Sinne voraussetzen. Bei den intensiven Vorstellungen dagegen werden wir uns schon deshalb auf die typischen Formen der intensiven Gehörsvorstellungen beschränken können, weil hinsichtlich der übrigen, wie z. B. derjenigen von Temperatur- und Druck-, von Geruchs- und Geschmacksempfindungen die wesentlichen Verhältnisse bereits in der Lehre von den Empfindungen (Kap. X) erwähnt worden sind.

c. Intensive Gehörsvorstellungen: Geräusche und Klänge.

Die allgemeinste Klasse der Gehörsvorstellungen bilden die Geräusche. Mit diesem Namen bezeichnen wir alle diejenigen auf bestimmte objektive Bedingungen bezogenen Schalleindrücke, bei denen zahlreiche unregelmäßig sich durchkreuzende Klangbestandteile die früher (S. 127 ff.) betrachteten Geräuschempfindungen zu mehr oder minder vorherrschenden Elementen der Vorstellungen machen. Der nahe Zusammenhang, in welchem die Geräusch- mit den Klangempfindungen stehen, bringt es mit sich, daß die ungeheure Mehrzahl der Geräusche noch einzelne Töne oder mindestens gewisse Tonlagen unterscheiden läßt, und daß demnach eine reine Geräuschform, d. h. ein Schalleindruck, dem absolut jede Beimischung von Tonelementen in der Empfindung fehlt, jedenfalls nur ein selten vorkommender Grenzfall ist. Anderseits sind freilich die reinen Klangvorstellungen gegenüber der ungeheuer großen Zahl mannigfacher Geräusche, die an unser Ohr dringen, ebenfalls verhältnismäßig klein an Zahl. Man kann daher das gemischte, aus Geräusch- und Tonelementen zusammengesetzte Geräusch als die allgemeinste und verbreitetste Form unserer Schallvorstellungen bezeichnen, neben der die reinen Geräusche auf der einen und die reinen Klänge auf der andern Seite die beiden Grenzfälle bilden, zwischen denen sich alle unsere wirklichen Schallvorstellungen bewegen.

Hiermit ist zugleich der Untersuchung dieses Vorstellungsgebiets ein Weg vorgezeichnet, der gewissermaßen in einer Umkehrung desjenigen besteht, den die Lehre von den Schallempfindungen zu nehmen hatte. Mußte diese naturgemäß von den reinen Tonempfindungen als den letzten unzerlegbaren Elementen ausgehen, um die in der wirklichen Empfindung vorkommenden Klangempfindungen, als die nächsten Ver-

bindungen einfacher Töne, und dann erst die aus den Interferenzwirkungen unregelmäßig zusammenwirkender Töne resultierenden Geräuschempfindungen zu analysieren, so ist für die Theorie der Vorstellungsbildung die Tatsache maßgebend, daß unsere wirklichen Schallvorstellungen im allgemeinen Geräusche sind, aus denen sich nur unter besonderen Bedingungen Klänge entwickeln. Dabei ist das Geräusch um so mehr der natürliche Ausgangspunkt der Betrachtung, als diese Bedingungen zur Entstehung von Klängen nur in verschwindendem Maße von selbst in der Natur verwirklicht, sondern in ihrer für das entwickelte menschliche Bewußtsein allerdings vorherrschenden Bedeutung durchaus nur ein Produkt der Kunst sind, die zuerst, als Gesangskunst, die Geräusche der menschlichen Stimme und Sprache durch Benutzung der hier vorkommenden Grenzfälle verhältnismäßig deutlicher Klangbildung zu vollkommeneren Klangformen ausgebildet, und dann, als Instrumentalkunst, gewisse, dazu wiederum günstige Bedingungen darbietende Objekte zu Werkzeugen reiner Klangerzeugung umgestaltet hat. Indem die Untersuchung der Gehörsvorstellungen annähernd denselben Weg geht, den die Entwickelung der objektiven Vorstellungen selber zurückgelegt hat, wird sie zugleich am ehesten hoffen dürfen, über die psychologische Entwickelung Rechenschaft zu geben, die auf diesem Gebiet das menschliche Bewußtsein zurückgelegt hat, indem es, von den selbsthervorgebrachten und von zufällig in seiner Umgebung entstehenden Schalleindrücken angeregt, den Klangvorstellungen erst jenes Übergewicht über das unabsehbare Wirrsal mannigfacher Geräusche verschaffte.

Ergeben sich auf diese Weise Geräusche und Klänge als die beiden zwar durch Übergangsglieder verbundenen, aber in ihren reinen Erscheinungen deutlich geschiedenen Grundformen der Gehörsvorstellung, so führt nun weiterhin der genetische Gesichtspunkt, nach dem hier die Geräusche den Klängen voranzugehen haben, auch hinsichtlich der besonderen Aufgabe, die uns gestellt ist, zu einem entsprechenden Ergebnisse. Indem wir nämlich die Gehörsvorstellungen als typische Beispiele intensiver Vorstellungen, unter vorläufiger Abstraktion von den Erscheinungen ihres zeitlichen Wechsels, betrachten, ergibt die Vergleichung eben jener beiden Grundformen, daß eine derartige Abstraktion, so sehr sie durch die unmittelbare Beschaffenheit der Klänge nahegelegt wird, bei den Geräuschen unausführbar wird. Den Klang eines musikalischen Instrumentes oder irgend einen konsonanten Zusammenklang können wir nach allen seinen Eigenschaften analysieren, ohne auf seine Dauer oder auf seinen Wechsel mit andern Klängen Rücksicht zu nehmen; und es ist einleuchtend, daß die Untersuchung der rein intensiven Eigenschaften der Klangvorstellungen derjenigen der extensiven, wie sie

sich in dem Zusammenhang der Melodie zum Teil auf jenen intensiven aufbaut, vorausgehen muß. Ein Geräusch dagegen empfängt durchweg erst durch die in ihm vorhandene Verbindung intensiver und extensiver, zeitlicher Eigenschaften seinen spezifischen Charakter. Ein rollendes, rasselndes oder zischendes Geräusch würde, wenn man es auf einen einzigen Zeitmoment reduziert dächte, eben kein rollendes, rasselndes oder zischendes Geräusch mehr sein. Indem in einem solchen Geräusch qualitativ verschiedene Eindrücke in rascher Folge miteinander wechseln, muß dasselbe eine gewisse Zeit dauern, um seinen eigenen Charakter überhaupt entwickeln zu können. Nun gibt es allerdings auch Geräusche, deren Eigenart zum Teil darin besteht, daß sie nur während einer sehr kurzen Zeit andauern, wie z. B. der Knall beim Entkorken einer Flasche, das Geräusch beim Zusammenschlagen zweier Holzstücke usw. In solchen Fällen ist dann aber gerade die kurze Dauer entscheidend für die Beschaffenheit des Geräusches. Würde dieses in gleicher Weise während einer längeren Zeit dauern, so würde es entweder in ein wesentlich abweichendes Geräusch oder in einen Klang übergehen. Hiernach ist überhaupt der Begriff des Geräusches ein einigermaßen fließender, und so läßt sich denn auch eine scharfe Grenze zwischen Klang und Geräusch nicht ziehen. Insbesondere lassen sich objektive Kriterien für die Unterscheidung beider, wie man solche in der Definition der Klänge als periodischer, der Geräusche als aperiodischer Schwingungsbewegungen zu geben versucht hat, nicht feststellen[1]. So rechnen wir z. B. unter den Konsonanten der menschlichen Stimme die Reibe- und Zitterlaute (wie f, s, sch, r), obgleich bei ihnen die Schallbewegung eine periodische ist, gleichwohl zu den Geräuschen. In allen Fällen bleibt daher als Unterscheidungsmerkmal zwischen Klang und Geräusch allein das subjektive, daß sich der Klang aus Tonempfindungen zusammensetzt, während das Geräusch solche entweder überhaupt nicht oder nur in unbestimmter Weise unterscheiden läßt.

2. Geräuschformen.

a. Allgemeine Bedingungen der Geräuschbildung.

Da die Schallbewegungen, aus deren Wirkung auf das Ohr die Gehörsvorstellungen entspringen, im allgemeinen aus den mannigfachsten Verbindungen einfacher Bewegungsimpulse hervorgehen, die sich nur in gewissen Grenzfällen zu regelmäßigen Tonbewegungen ordnen, so sind

[1] Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 16.

die Geräusche die ursprünglichen Formen unserer Gehörsvorstellungen; und Geräusche bilden hauptsächlich das Material, aus welchem der Gehörssinn das ihm adäquate Bild der Außenwelt aufbaut. Wie der Gesichtssinn die Außenwelt zunächst als eine Mannigfaltigkeit von Gegenständen erfaßt, um dann erst in zweiter Linie auch die Veränderungen derselben zu einheitlichen Vorstellungen zu verknüpfen, so bieten sich umgekehrt dem Gehörssinn in den Geräuschen ausschließlich gewisse Vorgänge der Außenwelt, die dann immer erst sekundär und nie ohne die Verbindung mit Vorstellungen der räumlichen Sinne auf Gegenstände bezogen werden. Dabei macht sich nun aber die in der Regel komplexe Beschaffenheit der mit bestimmten Naturvorgängen verbundenen Schallbewegungen nicht bloß darin geltend, daß wir meist sofort die Geräuschvorstellung als ein zusammengesetztes, aus Ton- und Geräuschelementen bestehendes Gebilde erkennen, sondern auch darin, daß eine Schallbewegung und demnach die ihr zugeordnete Vorstellung innerhalb einer gewissen, oft ziemlich ansehnlichen Breite variieren kann, ohne die Beziehung auf einen bestimmten Vorgang wesentlich zu ändern. Dieses Verhältnis findet darin seinen Ausdruck, daß sich die Wörter, die uns die Sprache für die Bezeichnung der Geräusche zur Verfügung stellt, ganz und gar auf die Unterscheidung gewisser Hauptformen derselben beschränken, während doch tatsächlich jede dieser Formen eine oft unabsehbare große Zahl einzelner Modifikationen umfaßt.

Ein so unvollständiges Bild aber demnach diese Benennungen der Geräusche von den Eigenschaften der wirklichen Geräuschvorstellungen geben mögen, so sind sie doch für die allgemeine Beschaffenheit dieser Klasse von Vorstellungen charakteristisch. Wenn wir nämlich von den an sich indifferenten Ausdrücken, wie stark, schwach, laut, leise u. dergl. absehen, die sich bloß auf die Stärke des Empfindungsinhaltes beziehen, so zerfallen alle diesem Gebiete eigenen Bezeichnungen in zwei Gruppen. Davon deutet die erste, an sich unbestimmtere, den Klangcharakter der Geräusche an: so in Ausdrücken wie voll, leer, dumpf, hell, wo sich die beiden ersten überhaupt nur auf das Vorhandensein oder den Mangel des Klangcharakters, die beiden letzteren auf die ungefähre Tonlage beziehen. Die zweite Gruppe enthält Ausdrücke, mittels deren wir das Geräusch selbst und besonders die ihm zukommenden zeitlichen Eigenschaften schildern. Hierher gehören also Wörter wie knallen, pfeifen, rollen, zischen, sausen, brüllen usw., kurz alle jene unmittelbaren Onomatopoëtica, die ein Geräusch dadurch bezeichnen, daß sie mittels der Sprachorgane ein ähnliches Geräusch nachbilden. Beide Klassenbezeichnungen, so unbestimmt sie sind, weisen aber deutlich auf die zwei Eigenschaften hin, die hauptsächlich unsern Geräuschvorstellungen ihren

spezifischen Charakter verleihen: auf einzelne in dem Geräusch enthaltene, dessen Tonlage bestimmende Klänge, und auf die den zeitlichen Ablauf des Geräusches kennzeichnenden Schwebungen und Tonstöße, die, wie sie an sich elementare Bedingungen der Geräuschbildung sind, so sich bei den meisten Geräuschen in zusammengesetzter Weise verbinden. Von diesen beiden Momenten kommt das erste, die Beschaffenheit der Klangbestandteile, hauptsächlich und nicht selten ausschließlich bei den kurz dauernden Geräuschen zur Geltung. Das zweite, das Zusammenwirken und der zeitliche Verlauf der Schwebungsphänomene, tritt neben dem ersteren bei den Dauergeräuschen als das maßgebende hervor.

Um, von diesen der unmittelbaren Wahrnehmung zugänglichen Tatsachen ausgehend, tiefer in die Konstitution der Geräuschvorstellungen einzudringen, fehlt es uns jedoch für die Gesamtheit der in der Natur entstehenden Geräuschformen noch durchaus an der unerläßlichen physikalischen Vorbedingung, an der Analyse der Schallbewegungen selbst. Nur eine Gattung von Geräuschen gibt es, für die aus Anlaß des besonderen physiologischen Interesses, das sie in Anspruch nehmen, diese Vorbedingung einigermaßen erfüllt ist: die Sprachlaute. Bei der Vollständigkeit, in der uns in diesen vom menschlichen Sprachorgan hervorgebrachten Schallbewegungen alle möglichen Geräuschformen, von dem nahezu reinen, tonlosen Geräusch an bis zum Übergang in den Klang, gegeben sind, bilden nun die Sprachlaute auch für eine Untersuchung der allgemeinen Formen der Geräuschbildung und der Entstehung von Geräuschvorstellungen besonders günstige Objekte. In diesem Sinne soll im Folgenden der Versuch gemacht werden, die psychologische Struktur der Geräuschvorstellungen an der Hand dieser typischen Beispiele zu analysieren, während von allem dem, was die physiologische Seite des Problems der Sprachlaute angeht, hier ebenso abgesehen wird, wie die physiologische oder linguistische Phonetik ihrerseits die uns hier beschäftigende psychologische Frage unberücksichtigt läßt[1].

b. Die Sprachlaute als typische Formen der Geräuschvorstellungen.

Wenn wir schon bei den mannigfachen Geräuschbildungen, die uns in der äußeren Natur begegnen, neben den eines bestimmten Toncharakters ermangelnden eigentlichen Geräuschelementen in der Regel auch mehr oder minder deutlich ausgeprägte Klänge unterscheiden können, so

[1] Die physiologischen Verhältnisse findet man gut zusammengestellt und durch Abbildungen erläutert bei H. GUTZMANN, Physiologie der Stimme und Sprache. 1908.

gewinnt diese allgemeine Zusammensetzung des Geräusches bei den Sprachlauten dadurch einen eigenartigen Charakter, daß hier beide Bestandteile an verschiedene physiologische Substrate verteilt sind: die Klangbestandteile an das Stimmorgan, den Kehlkopf, die spezifischen Geräuschbestandteile an die Organe der Mundhöhle. Wie der Kehlkopf mit seinen durch die Exspirationsluft in Schwingungen versetzten Stimmbändern den künstlichen Zungenpfeifen der musikalischen Instrumente in seinen allgemeinen akustischen Eigenschaften ähnlich ist, so pflegt man wohl auch die Mundhöhle dem Ansatzrohr eines solchen Instrumentes zu vergleichen. Aber wenn diese Analogie schon für das Stimmorgan nur teilweise zutrifft, weil die häutigen Membranen desselben ausgiebiger Spannungs- und Formänderungen fähig sind, welche die Tonhöhe wie den Klangcharakter in weitem Umfang variabel machen, so entfernen sich die Sprachwerkzeuge der Mundhöhle noch in viel höherem Maße nicht bloß durch die ihnen ebenfalls eigene große Veränderlichkeit der Form, sondern mehr noch durch ihre allgemeinen akustischen Eigenschaften von denen der Ansatzröhren unserer Blasinstrumente. Wohl kann auch der Hohlraum der Mundhöhle gewisse im Stimmton enthaltene Klangbestandteile durch Resonanz verstärken; die überwiegende Bedeutung dieser Teile besteht aber jedenfalls darin, daß der sie durchsetzende Exspirationsstrom Geräusche erzeugt, die sich entweder unmittelbar dem Stimmton beimengen, oder aber unabhängig von demselben, durch das Vorbeistreichen eines tonlosen Exspirationsstromes hervorgebracht werden. Die erste Form des Zusammenwirkens der beiden Teile des Sprachorgans liegt der Erzeugung der Vokale, die zweite der der eigentlichen oder tonlosen Konsonanten zugrunde. Vielfach bieten jedoch die Organe ein mittleres Verhalten zwischen diesen beiden Fällen: so in einer dem Vokalcharakter sehr genäherten Form bei den sogenannten »Halbvokalen«, und mehr im Übergang zu den tonlosen Geräuschlauten bei den »tönenden Konsonanten«. Schon die Existenz dieser Übergangslaute zeigt, daß es sich hier nirgends um absolut scharfe Grenzbestimmungen handeln kann, sondern daß die Gesamtheit der Sprachlaute eine kontinuierliche Reihe von Geräuschformen bildet, an deren einem Ende die Klangbestandteile, und an deren anderem die Geräuschelemente überwiegend sind.

Diese Verhältnisse lassen sich am deutlichsten übersehen, wenn man die der Luft durch die verschiedenen Sprachlaute mitgeteilten Schwingungen entweder durch ihre Übertragung auf einen eigens zu diesem Zweck konstruierten »Sprachzeichner« oder durch die Umsetzung der an einem Phonographen gewonnenen Eindrücke in die gewöhnliche Kurvenform objektiv zu ermitteln sucht. Bei den reinen Vokalen werden auf

diese Weise Kurven gewonnen, die sich den Formen reiner Klangkurven, wie wir sie früher (Fig. 172, S. 72) kennen lernten, noch verhältnismäßig am meisten nähern. Dennoch zeigt sich schon hier in einer Beziehung ein wesentlicher Unterschied: die Vokalkurven besitzen durchweg den Charakter von Schwebungskurven, d. h. sie zeigen überall jene Intermissionen des Klangs, wie sie entstehen, wenn Töne, die gegeneinander verstimmt sind, gleichzeitig erklingen (vgl. Fig. 186, S. 135). Da nun der Stimmton als solcher den reinen Klangcharakter besitzt, so können diese Intermissionen nur in der Mundhöhle entstehen; und dies bestätigt sich

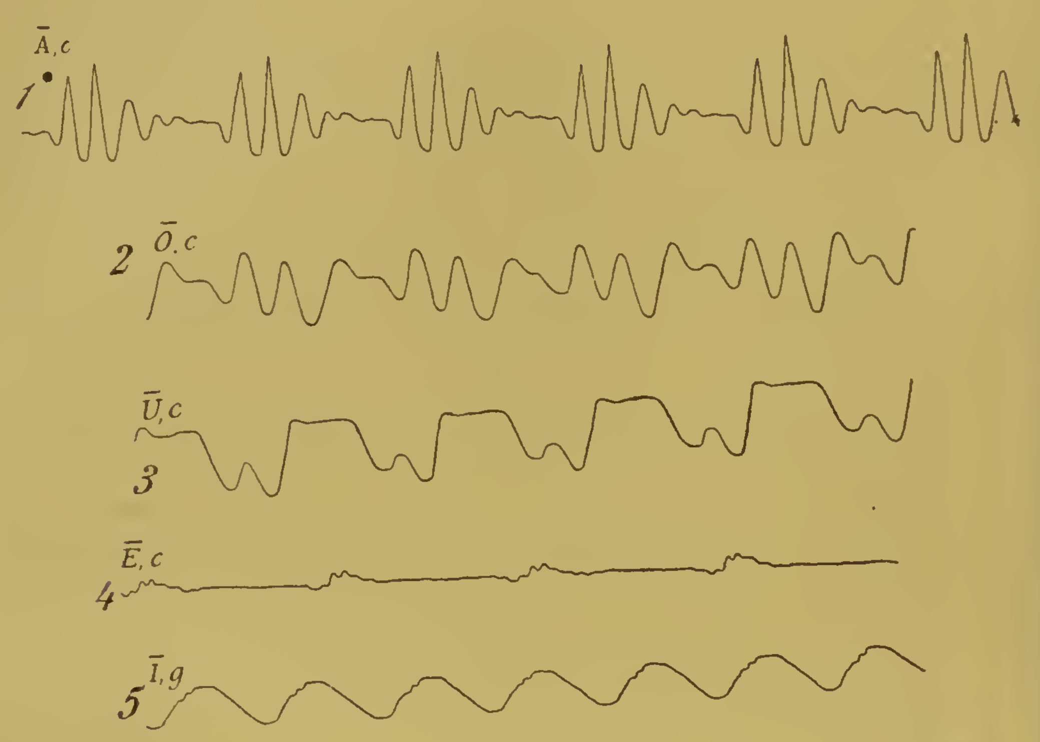
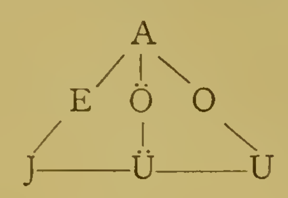


Fig. 245. Schallkurven der fünf Hauptvokale *A*, *O*, *U*, *E*, *I*, nach L. HERMANN.

auch darin, daß sie je nach der Form, die man der Mundhöhle gibt, bei einem und demselben Stimmton eine verschiedene Beschaffenheit besitzen. Da nun solche abweichende Gestaltungen regelmäßig der Bildung der verschiedenen Vokallaute zugrunde liegen, so ergibt sich daraus, daß auf der eigentümlichen, zu der Periodik des Stimmklangs hinzutretenden Periodik jener Intermissionen der spezifische Charakter der einzelnen Vokale beruht. Die Fig. 245 zeigt die wesentlichen Verschiedenheiten dieser Periodik an den fünf Vokalen *A*, *O*, *U*, *E*, *I*. Der Stimmklang hatte bei den vier ersten Vokalen die nämliche Tonhöhe ($c = 128$ Schwingungen); beim *I* lag er um eine Quinte höher ($g = 192$ Schwingungen). Bei dem *E* und namentlich bei dem *I* werden die

Intermissionen als außerordentlich feine Zacken sichtbar, die der Kurve des Stimmtons superponiert sind; bei dem *O* und dem *U* erscheinen sie als Unterbrechungen des Stimmtons durch Schwingungen von abweichenden Perioden, und die Kurve des Grundvokals *A* läßt sich als zusammengesetzt aus beiden Phänomenen betrachten. Dies entspricht den Richtungen, in denen sich auch nach dem subjektiven Klangcharakter die Qualität der Vokale von *A* ausgehend verändern kann, wie dies das folgende Schema andeutet:



Indem alle möglichen stetigen Übergänge von jedem der angegebenen Hauptvokale zu den andern stattfinden können, veranschaulicht die von den Grundvokalen *A U I* eingeschlossene Dreiecksfläche, analog dem von den drei Grundfarben eingeschlossenen Farbendreieck (S. 155), das gesamte dem Stimmapparat verfügbare Vokalsystem. Dabei entspricht es der in weiten Grenzen stattfindenden Unabhängigkeit des durch die wechselnde Konfiguration der Mundhöhle erzeugten Vokalcharakters von der Höhe des im Kehlkopf erzeugten Stimmtons, daß die allgemeine Form der Vokalkurven bei dem Wechsel des letzteren im wesentlichen die gleiche bleibt. Dies beruht offenbar darauf, daß sich dem Stimmton bei der Bewegung der Exspirationsluft durch die Mundhöhle Eigentöne des Mundraumes beimischen, die dem Klang seinen Vokalcharakter verleihen, und die daher als die charakteristischen Vokaltöne oder nach einem von L. HERMANN eingeführten Ausdruck als die Formanten des Vokals bezeichnet werden können. Diese Formanten stehen nun im allgemeinen in unharmonischen Verhältnissen sowohl zueinander wie zu dem Grundton des Stimmklangs. Sie können aber eine so große Stärke erreichen, daß namentlich bei der Sprechstimme der Grundton selbst verhältnismäßig sehr schwach ist. Dagegen überwiegt bei der Singstimme umgekehrt der Stimmklang. Je mehr dieser den Gesamteindruck dem musikalischen Klang nähert, um so undeutlicher wird daher der Vokal.

Über die Tonlage der Formanten bei den verschiedenen Vokalen herrscht noch manche Unsicherheit. Natürlich ist das Bild einer Vokalkurve um so vieldeutiger, je größer die Zahl der zusammenwirkenden Formanten ist, und je mehr sich infolge ihres dissonanten Verhältnisses die Schwebungsphänomene häufen. Auf dem Weg der subjektiven Klanganalyse mit Hilfe von

Resonatoren (Fig. 178, S. 91), die auf die einzelnen Formanten des Klangs abgestimmt sind, werden aber voraussichtlich nur solche Formanten aufzufinden sein, die selbst nicht allzu sehr durch Schwebungen verdeckt werden, was vorzugsweise dann zutrifft, wenn die Formanten zu den Obertönen des Stimmklangs gehören. Hierdurch erklären sich wahrscheinlich die abweichenden Ergebnisse der verschiedenen Beobachter, welche die folgende Übersicht erkennen läßt. Die durch subjektive Klanganalyse gewonnenen Ergebnisse von Helmholtz weichen, wie man sieht, am meisten ab, während die von Hermann und Pipping, die sich beide objektiver Methoden bedienten, wenigstens hinsichtlich der allgemeinen Tonlage der Formanten meist nahe übereinstimmen[1].

Formanten der Hauptvokale.

	Helmholtz	Hermann	Pipping
A	b^2	e^2—gis^2	gis^2 cis^3
O	b^1	c^2—dis^2	g^1
E	f^1 b^3	d^2—e^2, ais^3—h^3	f^1 fis^3 cis^4
I	f d^4	d^1 cis^4 fis^4	e^4—f^4
U	f	c^1—f^1 d^2—e^2	d^1—f^1 d^3
Ä	d^2 g^3—as^3	c^2—e^2 fis^3—ais^3	g^2 fis^3
Ö	—	f^3—g^3	f^1 g^3
Ü	—	a^3—h^3	d^1 c^4

Erscheinen hiernach die Vokale im allgemeinen als Klänge, die sich durch die ungewöhnlich starke Beimengung von Geräuschelementen auszeichnen, aus welchen letzteren einzelne Töne von konstanter Höhenlage den Vokal als solchen charakterisieren, so gewinnen nun bei den Konsonanten die durch die Spannungen und Bewegungen bestimmter Mundteile sich beimengenden Geräuschelemente ein mit der Entfernung vom Vokalcharakter zunehmendes Übergewicht über den Stimmton, bis der letztere schließlich bei den »stummen« Konsonanten ganz verschwindet. Zugleich treten aber dabei die einzelnen Töne, die in jene Geräuschelemente als Formanten eingehen, immer mehr zurück gegenüber den von langsameren Schwingungen der Mundteile herrührenden tonlosen Remissionen oder Unterbrechungen des Schalls. Auf diese Weise wird hier die Dauer und Schnelligkeit dieser tonlosen Schallstöße hauptsächlich für den Lautcharakter kennzeichnend. Durch das sukzessive Hervortreten der einzelnen genannten Momente bilden nun die Konsonanten eine Reihe typischer Geräuschformen, die sich an ihrem Anfang von dem durch die Vorherrschaft des Klangcharakters ausgezeichneten

[1] Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 168 ff. Pipping, Zeitschrift für Biologie, Bd. 27, 1890, S. 77. Bd. 31, 1895, S. 524. L. Hermann, Pflügers Archiv, Bd. 45, S. 582. Bd. 47, S. 42 ff. Bd. 58, S. 264. Bd. 61, S. 169.

Vokal nur wenig unterscheiden, um endlich da, wo nur noch die Form der Schallunterbrechung für den Eindruck maßgebend ist, in ein reines Geräusch überzugehen. Die in Fig. 246 dargestellten Kurven, die

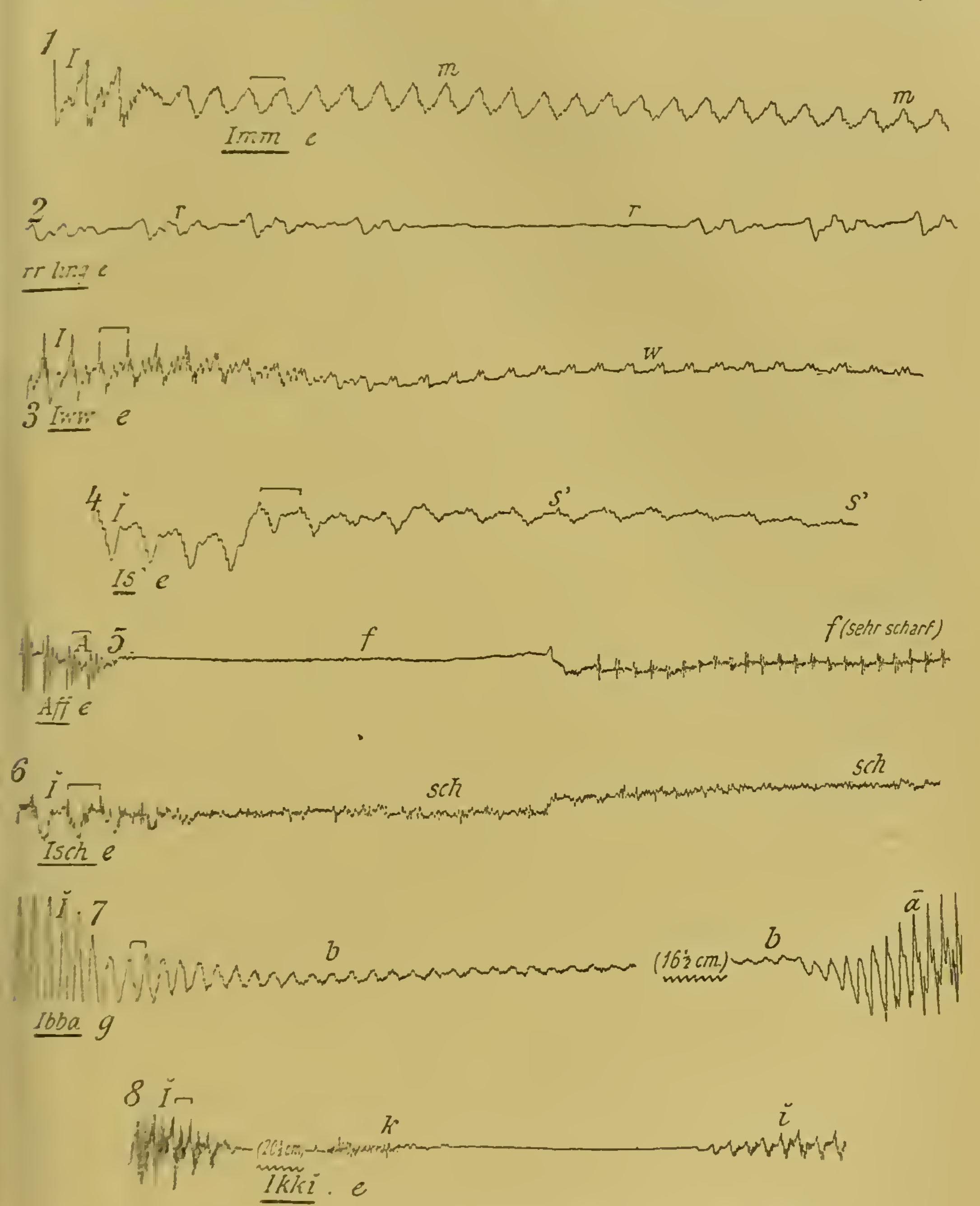


Fig. 246. Schallkurven konsonantischer Geräuschlaute, nach L. HERMANN.

in ähnlicher Weise wie die Vokalkurven der Fig. 245 gewonnen sind, zeigen dies an einer Reihe typischer Beispiele für jede der bekannten Hauptformen konsonantischer Geräusche. Wegen der Abhängigkeit von

den vorangehenden oder nachfolgenden Vokallauten sind sie meist mit diesen zusammen aufgezeichnet; der das Geräusch tragende Stimmton (zwischen c und c^1 liegend) ist neben diesen Lauten unter jeder Kurve angegeben. Die Kurve des *M*, von der sich die Formen der übrigen phonischen Dauerlaute (*L*, *N*) nicht wesentlich unterscheiden, zeigt noch ganz den Charakter eines hohen Vokalklangs. Wahrscheinlich ist es nur eine etwas größere Unregelmäßigkeit der dem Stimmton superponierten hochliegenden Formanten, die sie von der Kurve des *I* unterscheidet; und ebenso dürften die Eigentümlichkeiten der einzelnen dieser Halbvokale wieder in der besonderen Art der Unterbrechungen der Formanten ihren Grund haben. Dem gegenüber gewährt der remittierende Halbvokal, das *R*, in seinen verschiedenen, in ihrem physikalischen Charakter übereinstimmenden Formen des *R* linguale und gutturale schon ein wesentlich abweichendes Bild. Einerseits erinnern nämlich die tönenden Perioden der Kurven mehr an die Gestalten der tieferen Vokalkurven (*A* oder *O*), ohne daß freilich Andeutungen gleichzeitig vorhandener sehr hoher Formanten ganz fehlen; anderseits bilden die Remissionen des Schalls, bei denen die Kurve nur minimale Oszillationen um die Abszissenlinie macht, offenbar diejenigen Bestandteile des Ganzen, die für den Lautcharakter besonders charakteristisch sind. Daran reihen sich die phonischen und die aphonischen Dauergeräusche, die ersteren durch unser *W*, weiches *S*, engl. *th*, franz. *z*, die letzteren, durch scharfes *F*, scharfes *S*, *Sch*, *Ch* usw. repräsentiert, die beide wieder, abgesehen von den zuweilen dem vorangehenden Vokal folgenden Tonpausen, kontinuierliche Schallkurven zeigen. Unter ihnen lassen die phonischen Dauergeräusche den Stimmton mehr oder minder deutlich unter den in ein sehr hohes Tongebiet fallenden irregulären Formanten hervortreten, wogegen bei den letzteren nur noch diese als ungemein rasche Oszillationen um die Abszissenlinie vorhanden sind. Schwächer angedeutet, aber doch meist noch deutlich erkennbar ist dann wieder der Stimmlaut bei den phonischen Explosivlauten (den s. g. Mediae *B*, *D*, *G*). Endlich als bloße Exspirationsgeräusche ohne jeden Stimmklang treten uns die aphonischen Explosivlaute (*P*, *K*, *T*) entgegen: sie bilden, genau wie die aphonischen Dauergeräusche, irreguläre sehr schnelle Schwingungen um die Abszissenlinie, nur von kürzerer Dauer und, wo sie, wie in der Sprache, in Zusammenhang mit andern Lauten treten, in der Regel durch völlig schallfreie Pausen von diesen geschieden.

Natürlich werden nun auch die unregelmäßigsten Wellenformen dieser Art prinzipiell immer in irgendwelche Formanten, d. h. in Töne von bestimmter Höhe, zerlegbar sein; und meist läßt sich die allgemeine Tonlage dieser Formanten subjektiv schon mit dem Gehör erkennen: so z. B.

bei dem *R* als eine relativ tiefere, bei dem *F*, *S*, *Sch* usw. als eine sehr hohe. Aber teils diese hohe Lage, die viele Formanten wahrscheinlich in den objektiven Kurven verschwinden läßt, teils das Zusammenwirken derselben macht diese Aufgabe zu einer sehr schwierigen, so daß erst Anfänge zu ihrer Lösung gemacht sind[1]. Auch wird die Frage nach der spezifischen Natur der konstituierenden Töne hier naturgemäß in dem Maße von relativ geringerer Bedeutung, als bei den eigentlichen Geräuschformen überhaupt solche Momente wie Dauer des Schalls, Art und Geschwindigkeit der Intermissionen eine überwiegende Rolle spielen, wogegen die Höhenlage der herauszuhörenden Tonelemente oft in erheblichem Grade variieren kann, ohne damit den allgemeinen Charakter des Geräusches zu ändern.

So sind denn auch die in den obigen Kurven dargestellten Beispiele keine feststehenden Formen der Schallbewegung, die sich bei jedem einzelnen Sprachlaut immer wieder in genau der gleichen Weise wiederholen, sondern sie variieren im einzelnen mannigfach nach den nationalen und individuellen Nuancen der Aussprache. Auch sind sie insofern keine absolut getreuen Nachbildungen der jedesmal stattfindenden objektiven Schallbewegungen, als je nach der Einstellung der benutzten Apparate einzelne Elemente der Kurven mehr oder weniger hervortreten und andere ganz unmerklich werden können; und diese einzelnen Variationen haben einen um so weiteren Spielraum, je mehr die Klangelemente gegenüber den Geräuschelementen zurücktreten. Die Vokale besitzen daher im ganzen einen konstanteren Charakter als die Konsonanten, und unter diesen sind wieder die phonischen relativ konstanter als die aphonischen[2]. Aber typische Formen sind alle diese Beispiele immerhin in dem Sinne, daß sie als Repräsentanten der hauptsächlichsten Formen der Sprachlaute und, da die letzteren Repräsentanten der Hauptformen der Geräusche überhaupt sind, auch als typische Formen dieser gelten können. Nach den Beziehungen, die uns bereits die Analyse der Empfindungen zwischen ihnen und den objektiven Schallbewegungen kennen lehrte, und die besonders in den Phänomenen der natürlichen »Klanganalyse« einerseits und der »Tonverschmelzung« anderseits hervortreten, werden wir aber auch hier, im Gebiet der Vorstellungsbildung, von vornherein gesetzmäßige Beziehungen zwischen den in diesem Falle nur viel verwickelter gestalteten objektiven Schallbewegungen und den entsprechen-

---

[1] Wendeler. Zeitschrift für Biologie, Bd. 23, 1887, S. 303. L. Hermann, Pflügers Archiv, Bd. 58, 1894, S. 255. Bd. 83, 1900, S. 1 ff.

[2] Man vergleiche die hinsichtlich der Breite dieser Schwankungen sehr instruktiven Tafeln von Hermann, Pflügers Archiv, Bd. 61, Taf. V u. VI (Vokalkurven), und Bd. 83, Taf. I—IV (Konsonanten).

den Vorstellungen voraussetzen dürfen. In der Tat bestätigt das die unmittelbare Auffassung aller Geräuschlaute vor allem insofern, als bei ihnen jener einheitliche Charakter, den in diesen Fällen stets auch die objektive Schallbewegung erkennen läßt, in einem entsprechenden einheitlichen Charakter der zugehörigen Geräuschvorstellung seinen Ausdruck findet, und daß daneben die Zusammensetzung jener Bewegung aus einer großen Zahl von Partialbewegungen in der nicht minder deutlich unterscheidbaren Vielheit der Bestandteile der Vorstellung sich ausprägt. Auch die Geräuschvorstellungen sind demnach Verschmelzungsprodukte, in denen einzelne dominierende Elemente von andern mehr zurücktretenden, die nichtsdestoweniger den Charakter des Ganzen bestimmen, begleitet werden. Gleichen auf diese Weise die Geräusche nach der allgemeinen Natur der bei ihnen wirksamen elementaren Assoziationsprozesse durchaus den Einzelklängen, so treten uns aber hier diese Prozesse in verwickelteren Formen entgegen; und hinsichtlich der Konstitution dieser Formen bilden die Geräusche eine Reihe, die in ihren einfacheren Anfängen dem Klang noch sehr nahe steht, um sich dann immer weiter von ihm zu entfernen.

c. Einteilung der Geräusche und psychologischer Charakter ihrer Hauptformen.

Überblickt man die in Fig. 245 und 246 dargestellten typischen Grundformen der Geräusche, so zerfallen dieselben, abgesehen von den unverkennbaren Übergangsbildungen, die die ganze Reihe zu einer nahezu kontinuierlichen machen, deutlich in drei Gruppen. Die erste dieser Gruppen (sie umfaßt bei den Sprachlauten die Vokale und Halbvokale) erscheint aus regelmäßigen Schwingungsbewegungen von verschiedenen Perioden zusammengesetzt. Wie bei den eigentlichen Klängen zeigt eine dieser Perioden stärkere Amplituden als die übrigen: der Schall enthält also noch einen dominierenden Ton (bei den Sprachlauten den Stimmton). Aber schon hier stehen die übrigen Perioden, im Unterschied von den Obertönen der eigentlichen Klänge, nicht in einem regelmäßigen, mit der Höhe wechselnden Schwingungsverhältnis zum Hauptton, sondern sie halten im allgemeinen irrationale, dafür aber bei wechselndem Hauptton wesentlich konstante Perioden ein: die »Formanten« der Vokale und der sonstigen vokalartigen Geräusche. Außerdem ist häufig der Hauptton im Vergleich mit diesen Nebentönen nur von wenig größerer Stärke (so z. B. bei den Vokalen der Sprechstimme), wiederum wesentlich abweichend von den eigentlichen Klängen. Nennen wir diese erste Gruppe, um ihre nahe Verwandtschaft mit den Klängen anzudeuten, die Klanggeräusche,

so sind dieselben demnach als Verschmelzungsprodukte zu definieren, die einen dominierenden Ton von variabler Höhe und von zuweilen verhältnismäßig nicht sehr überwiegender Stärke, daneben aber mit ihm verschmolzene modifizierende Töne von konstanter Höhe enthalten, unter denen einzelne wieder mehr als andere hervortreten.

Die zweite Gruppe umfaßt solche Geräusche, in denen zwar ebenfalls noch ein variabler Grundton (bei den Sprachlauten ein Stimmton) vorkommt, der aber gegenüber den andern Schallbestandteilen zurücktritt, während durch die Interferenzen dieses Haupttons und der konstanten Nebentöne starke Schwebungen entstehen, die nun hauptsächlich dem Geräusch seinen Charakter verleihen. So entstehen die verschiedenen Formen der intermittierenden Dauergeräusche, die wieder eine kontinuierliche Stufenfolge bilden von den durch die größere Stärke des variabeln Haupttons noch den Klanggeräuschen verwandten *R*-Lauten an, denen die verschiedenen Arten rollender und rasselnder Geräusche in der Natur entsprechen, durch die weicheren Zischlaute mit schwächerem Hauptton und raschen Intermissionen, bis zu den scharfen Zischlauten mit ganz zurücktretendem Hauptton und sehr hohen, in überaus schnellen Schwebungen begriffenen Nebentönen. Alle diese Dauergeräusche können demnach definiert werden als Verschmelzungsprodukte, die je nach ihrer Form einen bald mehr oder minder deutlich vernehmbaren, bald völlig verschwindenden variabeln Hauptton und in starken Schwebungen begriffene tiefere oder höhere Nebentöne enthalten. Dominierende Bestandteile dieser Dauergeräusche sind daher diese schwebenden Töne: bei den *R*-Geräuschen der variable schwebende Hauptton, bei den zischenden Geräuschen die relativ konstanten schwebenden Nebentöne. Hieraus erklärt sich die bekannte Erfahrung, daß rollende, rasselnde Geräusche u. dgl. in sehr beträchtlichem Umfang, zischende aber sehr wenig in ihrer Tonhöhe variieren können.

Eine dritte und letzte Gruppe umfaßt endlich diejenigen Geräusche, die durch eine plötzliche, sehr kurz dauernde Lufterschütterung erzeugt werden. Indem es bei einer solchen zur Ausbildung einer regelmäßigen Periodik überhaupt nicht kommt, setzen sich diese Geräusche aus einer raschen Folge sehr unregelmäßiger Oszillationen zusammen, die höchstens eine gewisse Tonlage erkennen lassen, aber des eigentlichen Toncharakters entbehren. Diese Momentangeräusche (in der Sprache die Explosivlaute) können sich aber leicht mit tönenden Geräuschen, namentlich mit Klanggeräuschen verbinden. Dies geschieht nicht bloß in der Sprache, wo sie entweder selbst schon von einem Stimmton begleitet sind (die phonischen Explosivlaute), oder mit einem eigentlichen Klang wechseln (die aphonischen); sondern dasselbe geschieht auch bei ihrer Entstehung

in der äußeren Natur: so in vielen Fällen bei jenen Geräuschen, die wir als knallende, stoßende, puffende u. dgl. bezeichnen. Von diesen Übergängen abgesehen, bilden die Momentangeräusche selbst infolge ihrer Zusammensetzung aus einer Menge stark interferierender und dabei nur sehr kurz dauernder Tonbewegungen wiederum relativ einfache Vorstellungen, die wir nur noch nach dem Gesamteffekt ihrer Empfindungselemente unterscheiden können.

Die Untersuchung der Geräuschformen ist gegenüber der Erforschung der Klänge und Klangverbindungen begreiflicherweise im Rückstand geblieben, da die Geräusche nicht nur außerhalb der Sphäre musikalischer Interessen liegen, sondern da es sich auch hier um Erscheinungen handelt, die in physikalischer, physiologischer und psychologischer Hinsicht einer Analyse schwerer zugänglich sind. So hat denn überhaupt das, worauf es der Psychologie der Schallvorstellungen zunächst ankommt, die Geräuschform als solche, gewissermaßen nur nebenbei Beachtung gefunden, insofern sich nämlich die Physiologie der Sprachlaute genötigt sah, den Entstehungsbedingungen der unter diesen sich darbietenden spezifischen Geräuschformen nachzugehen. Auch hier blieb aber zumeist die Betrachtung bei der Analyse des physiologischen Mechanismus ihrer Bildung stehen, ohne der für die Psychologie der Geräuschvorstellungen maßgebenden akustischen Seite derselben näher zu treten. Nur die Vokale bildeten wegen ihrer nahen Verwandtschaft mit den musikalischen Klängen eine Ausnahme. Nachdem schon WILLIS und besonders DONDERS[1] auf die Bedeutung der Resonanz der Mundhöhle für die charakteristischen Unterschiede der Vokale hingewiesen hatten, suchte zuerst HELMHOLTZ eine exakte Feststellung der Formanten auf subjektivem Wege zu gewinnen, indem er einerseits die natürlichen Vokale mittels der Resonatoren (Fig. 178, S. 91) analysierte, anderseits aber durch die Kombination von Stimmgabelklängen, die den gefundenen Partialtönen entsprachen, künstlich auf synthetischem Wege den Vokalen ähnliche Klangfarben erzeugte[2]. HELMHOLTZ fand auf diese Weise für jeden Vokal charakteristische Töne von konstanter Lage. Indem er dabei an der Analogie des Mundhöhlenraumes mit einer Ansatzröhre festhielt, betrachtete er auch die Vokale als reine Klänge, von deren Partialtönen dann jener Resonanzraum der Mundhöhle einzelne verstärke. Da nun aber der Vokalcharakter bei wechselnder Höhe des Stimmtones innerhalb ziemlich weiter Grenzen unverändert bleibt, so lag darin ein gewisser Widerspruch mit der festen Lage der Formanten, die doch vielmehr, wenn sie stets zu den Obertönen des Stimmklangs gehörten, mit der Tonhöhe des letzteren wechseln müßten. In der Tat glaubten F. AUERBACH[3] und GRASSMANN[4] eine solche variable Lage der Formanten annehmen zu sollen, wogegen HENSEN und PIPPING[5] sowie L. HERMANN[6] auf Grund der von ihnen

---

1 DONDERS, Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde. 1857.

2 HELMHOLTZ, Lehre von den Tonempfindungen4, S. 168 ff.

3 AUERBACH, WIEDEMANNS Annalen, Ergänzungsbd. 8, 1877, S. 48.

4 H. GRASSMANN, ebend. Bd. 1, 1877, S. 606.

5 HENSEN, Zeitschrift für Biologie, Bd. 23, S. 291. MARTENS, ebend. Bd. 25, S. 289. PIPPING, Bd. 27, S. 1. Bd. 31, S. 524.

6 HERMANN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 45, S. 582. Bd. 47, S. 42. 347. Bd. 53, S. 1. Bd. 58,

nach verschiedenen Methoden gewonnenen objektiven Darstellungen der Vokalkurven für eine feste oder doch nur innerhalb enger Grenzen schwankende Lage der Formanten eintraten und zugleich, wie schon AUERBACH, eine zumeist erheblich größere Zahl solcher charakteristischer Töne unterschieden. Dabei besteht freilich in einem Punkte ein noch nicht ausgeglichener Widerspruch zwischen diesen Forschern. Während HENSEN und PIPPING an der HELMHOLTZschen Auffassung festhalten, daß die Mundhöhle als Resonanzraum nur solche Töne verstärke, die schon in dem Stimmklang als Obertöne enthalten sind, schreibt HERMANN der Mundhöhle eine selbständige Tonbildung zu, darauf beruhend, daß die Teile derselben durch den Exspirationsstrom angeblasen werden. Betrachten demnach die ersteren die Vokale im wesentlichen noch als reine Klangformen, so sieht HERMANN in ihnen bereits Übergangsbildungen zwischen Klang und Geräusch. Der Versuch, zwischen diesen Auffassungen durch die Methode der Auslöschung einzelner Teiltöne des Vokals mittels der Interferenzapparate (Fig. 183, S. 109) zu entscheiden, hat bis jetzt keinen entscheidenden Erfolg gehabt[1]. Die Möglichkeit, die Obertonhypothese mit der Annahme einer annähernd festen Lage der Formanten zu verbinden, ist übrigens schon dadurch gegeben, daß die Formanten durchweg sehr hohe Töne sind, und die höheren Glieder der Obertonreihe ja immer enger zusammenrücken, so daß wenigstens eine annähernde Konstanz dieser Töne möglich bleibt. Aus dem gleichen Grunde ist aber auch für die tatsächliche Auffassung der Erscheinungen dieser prinzipielle Unterschied von verhältnismäßig geringerem Belang. In beiden Fällen stehen die Formanten untereinander in keinem einfachen Schwingungsverhältnis, sondern sie bilden im allgemeinen dissonierende Klangbestandteile, so daß sich von beiden Standpunkten aus ihre Bezeichnung als »Klanggeräusche« rechtfertigen läßt. Auch bleibt auf alle Fälle der wichtige Unterschied von den Klängen bestehen, daß es wesentlich konstante, nicht variable Elemente sind, die dem Vokal seinen eigentümlichen Charakter verleihen. Zugleich ist dies der Punkt, in welchem wiederum diese Klanggeräusche mit den verschiedenen Formen eigentlicher Geräusche durchaus übereinstimmen. Bei diesen, bei denen die Mittel der subjektiven Klanganalyse fast völlig versagen, zeigen die objektiven Darstellungen der Schallbewegungen, besonders in der beim Übergang von den tönenden zu den tonlosen Geräuschen allmählich verschwindenden Periodizität eines die Schwebungskurve begleitenden Grundtones, auf das deutlichste die stetigen Übergänge zwischen diesen Geräuschformen, sowie den vollständigen Parallelismus zwischen der physikalischen und der psychologischen Seite der Erscheinungen. Zu den aus HERMANNS Kurventafeln oben mitgeteilten Beispielen sei hier nur noch bemerkt, daß dieselben von HERMANN aus den Eindrücken in der Rolle des Phonographen dadurch hergestellt wurden, daß bei stark verlangsamter Rückwärtsbewegung der Rolle ein über die Eindrücke hinlaufendes, mit einem Hebelwerk versehenes kleines Glasknöpfchen seine Bewegungen in vergrößertem Maßstabe auf ein Spiegelchen übertrug, dessen Bewegungen dann auf einer mit lichtempfindlichem Papier überzogenen Kymographentrommel photographisch abgebildet wurden.

S. 264. Bd. 61, S. 169. Vgl. auch E. W. SCRIPTURE, The Elements of experimental Phonetics, 1902, p. 399 ff.

[1] SAUBERSCHWARZ und GRÜTZNER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 61, S. 1 ff.

Bei den Vokalversuchen HERMANNS (Fig. 245) war die so erzielte Vergrößerung der Ordinaten das 743fache, bei den Konsonanten (Fig. 246) sogar das 4179fache der wirklichen Größe, was bei der Vergleichung der Kurven zu beachten ist[1].

Indem nun dieses phonographische Verfahren alle Bestandteile einer Schallbewegung in ihrem Gesamteffekt wiedergibt, vergrößern sich naturgemäß die Schwierigkeiten der Analyse eines solchen Kurvenbildes in dem Maße, als die Zahl der Elemente zunimmt, aus denen es sich zusammensetzt und als zugleich die Intensitätsunterschiede der einzelnen Komponenten verhältnismäßig gering sind. Die Forderung, eine beliebige Geräuschkurve in lauter einzelne Tonelemente bzw. die entsprechenden Sinusschwingungen zu zerlegen, kann daher selbst bei den Klanggeräuschen immer nur teilweise, in bezug auf den Stimmton und einzelne besonders stark hervortretende Formanten erfüllt werden. Aber auch bei den Klanggeräuschen kann im einzelnen Fall eine solche Zerlegung dadurch in hohem Grade erschwert werden, daß der betreffende Schall von so kurzer Dauer ist oder so rasch sich in den ihn zusammensetzenden Tonkomponenten verändert, daß nur auf sehr kurze Strecken eine zureichend konstante Schwingungsform vorhanden ist. Dies macht sich ganz besonders bei den verschiedenen Geräuschformen der Sprechstimme geltend, wo ebensowohl das Zurücktreten des Stimmtons wie der rasche Wechsel der Schallbewegungen die Auffassung der Tonhöhen äußerst unsicher macht. Obgleich sich daher ohne weiteres feststellen läßt, daß die Laute beim Sprechen in einer bestimmten melodischen Folge sich aneinanderreihen, wodurch sich insbesondere z. B. Frage, Ausrufung, einfache Aussage unterscheiden und überdies je nach Dialekt und individueller Gewohnheit oder momentaner Gefühlserregung in mannigfachen Nuancen sich bewegen können, so ist doch die genauere Feststellung solcher Unterschiede mit großen Schwierigkeiten verknüpft. Zugleich ist aber klar, daß eine exakte Untersuchung der Sprechmelodie, die nach manchen Richtungen hin, insbesondere aber auch für die objektive Symptomatik der Gefühle, von hohem psychologischem Interesse sein würde, gewissermaßen einen der Geräuschanalyse entgegengesetzten Weg einschlagen muß. Kommt es bei der letzteren darauf an, möglichst alle Formanten der Sprachlaute in einer Gesamtkurve festzuhalten, so wird man umgekehrt ein Bild der Sprachmelodie dann gewinnen, wenn man aus der Summe jener Tonelemente den Stimmton möglichst allein aussondert. Denn an die Bewegungen dieses Tones ist die Sprechmelodie so unmittelbar gebunden, daß die andern Elemente dagegen so gut wie gar nicht in Betracht kommen, während ihre Registrierung vielmehr der genauen Ermittlung der Höhe des Stimmtones als des führenden Tones der Melodie hinderlich ist. Zu einer solchen Aussonderung des Stimmtones eignet sich nun besonders der Schildknorpel, auf den sich unmittelbar die Schwingungen der Stimmbänder übertragen, während die sekundär in der Mundhöhle erzeugten Schwingungen der Exspirationsluft kaum auf ihn einwirken. In diesem Sinne hat daher schon ROUSSELOT die Schildknorpelschwingungen nach der früher beschriebenen MAREYschen Methode der Luftregistrierung (S. 287f.) aufzuzeichnen versucht, ohne jedoch zu brauchbaren Ergebnissen zu gelangen. Besser entspricht diesem Zweck der nach dem gleichen Prinzip von KRUEGER

[1] L. HERMANN, ebend. Bd. 58, 1894, S. 255. Bd. 83, 1900, S. 1.

und Wirth konstruierte »Kehltonschreiber«. Er besteht aus einer Aufnahmekapsel, die, mit einem feinen Gummihäutchen bespannt, seitlich auf den Schildknorpel aufgesetzt wird und einer mit ihr durch einen Gummischlauch verbundenen Abgabekapsel die Schwingungen mitteilt. Diese werden dann mittels eines kleinen Aluminiumsteges auf eine zeichnende Borste übertragen. Die so am Kymographion aufgezeichneten Kurven scheinen sehr genau der Tonlage des Stimmtones zu folgen. Doch ist die Ausmessung der Kurve, die wegen der Veränderlichkeit des Stimmtones immer nur zwischen sehr engen Grenzen als gleichmäßig vorausgesetzt werden darf, sehr zeitraubend, ein Übelstand, der freilich in der Natur des zu messenden Vorganges liegt und daher kaum zu vermeiden sein wird[1]. Eines andern graphischen Verfahrens zur Wiedergabe von Klang- und Geräuschkurven hat sich zuerst R. König bedient. Es gründet sich auf die von König beobachteten Oszillationen einer Gasflamme, deren Ausflußrohr durch eine Kautschukmembran mit einer andern die Tonbewegung leitenden Röhre nahe einem der Knotenpunkte verbunden ist. König setzte die zuckenden Bewegungen solcher Flammen durch einen rotierenden Spiegel in fortlaufende Kurven um, die sich dann auf photographischem Wege auch objektiv wiedergeben lassen[2]. Einer sinnreichen Vereinfachung dieser Methode hat sich K. Marbe bedient, indem er den oberen Teil einer Königschen Flamme seine Schwingungen direkt auf einen vorbeibewegten Papierstreifen schreiben ließ. Dabei bildet sich der Mantel der Flamme als ein schwarzer Ring ab, so daß man durch die Abzählung der Ringe die Schwingungszahl eines direkt oder durch eine Königsche Membran auf die Flamme wirkenden Tones ermitteln kann[3]. Läßt man auf diese Weise einfache musikalische Klänge, z. B. die einer Stimmgabel, durch die Königsche Flamme aufzeichnen, so erhält man nach dieser Methode sehr regelmäßige, genau der Schwingungszahl des Tones entsprechende Rußringe. Anders verhält es sich freilich bei der Aufzeichnung von Klanggeräuschen, wie z. B. der Herztöne oder der tönenden Sprachlaute, wie die von Marbe selbst mitgeteilten Kurven zeigen. Hier ergibt sich ein ziemlich unsicheres Gewirre von Rauchringen, das sich kaum ohne weiteres auf einen bestimmten Grundton beziehen läßt. Dies erklärt sich wohl daraus, daß die Königsche Flamme nicht, wie der schwingende Schildknorpel beim Kehltonschreiber, den Stimmton annähernd rein aus der Schallmasse aussondert, sondern daß sie, wie sich bei der Abbildung der Flamme in einem rotierenden Spiegel deutlich erkennen läßt, eine komplizierte Schwingungskurve wiedergibt, die außer von dem Stimmton auch von den Formanten des Sprachlautes und überdies wahrscheinlich von Eigenschwingungen des leicht beweglichen Gasstroms beeinflußt wird. Das letztere machen besonders auch die beträchtlichen Abweichungen zwischen den Königschen Flammenkurven und den gegen solche Eigenschwingungen gesicherten Hermannschen Vokalkurven wahrscheinlich[4]. Nach diesen Beobachtungen bedarf daher die An-

---

[1] Krueger und Wirth, Psycholog. Stud. I, S. 103 ff.

[2] R. König, Wiedemanns Annal. Bd. 50, 1898, S. 193.

[3] Marbe, Physikalische Zeitschrift, Bd. 17, 1906, S. 543. Pflügers Archiv, Bd. 120, 1907. S. 205.

[4] Nagel und Samojeff, Archiv für Physiologie, 1898, S. 505. Nagel, ebend. 1905, Suppl. S. 62 ff.

wendbarkeit der Methode auf die Untersuchung der Sprechmelodie jedenfalls noch der näheren Prüfung[1].

3. Klangformen.

a. Konstante und variable Klangverwandtschaft.

Das gemeinsame Merkmal aller Geräuschvorstellungen ist es, daß die übereinstimmenden Empfindungselemente, die einer Geräuschform ihr eigenartiges Gepräge geben, konstant sind oder sich doch nur sehr wenig um gewisse mittlere Lagen bewegen. Insbesondere bei denjenigen Geräuschen, in deren Konstitution Einzelklänge oder Tonlagen eingehen, wird daher unsere Auffassung der Eindrücke durchaus durch die konstante Klangverwandtschaft bestimmt, die jedesmal eine Fülle einzelner Geräuschvorstellungen, deren sonstige Elemente mannigfach wechseln können, zu einer typischen Geräuschform vereinigt. Die Geräusche in der uns umgebenden Natur, die Stimmen der Tiere, die Laute der menschlichen Sprache, diese im einzelnen unabsehbare Fülle von Schalleindrücken ordnen wir so nach jenen einer größeren Gruppe gemeinsamen konstanten Bestandteilen in eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Geräuschformen, für deren Bezeichnung wir, wo sie nicht unmittelbar nach den erzeugenden Objekten selbst vorgenommen wird, die Nacherzeugung durch das menschliche Sprachorgan anwenden, sei es unmittelbar, wie bei den Sprachlauten selbst, sei es mittelbar in der Form der onomatopoetischen Bezeichnung, wie bei den meisten Geräuschbildungen der äußeren Natur.

Unter allen diesen Quellen der Geräuschbildung gibt es nun eine, die in besonderem Maße die Fähigkeit zu relativ reinen Klangbildungen in sich trägt: sie besteht in den vom menschlichen Sprachorgan hervorgebrachten Vokalklängen, die zugleich mit dem Übergang der Sprechstimme in die Gesangsstimme ihre in der Mundhöhle entstehenden Geräuschelemente zurück- und die in dem Stimmorgan erzeugten Tonelemente stärker hervortreten lassen. Mit diesem Übergang wird dann aber eine zweite, von jener konstanten der Geräusche wesentlich abweichende Art der Klangverwandtschaft die vorherrschende, die wir nach den sie auszeichnenden Eigenschaften die variable nennen können. Sie besteht darin, daß wir verschiedene Klänge dann verwandt nennen, wenn sie gewisse Teiltöne, die der harmonischen Tonreihe mit ihren Schwingungs-

---

[1] Über die Anwendung des Kehltonzeichners auf die Melodieführung einfacher Sätze und deren Resultate vgl. Völkerpsychologie[2], I, 2, S. 418 ff. Über die Sprachmodulationen überhaupt in ihrer Beziehung zu den Affekten unten Kap. XVI und XVII.

verhältnissen 1 : 2 : 3 : 4 : 5 .... angehören, in wahrnehmbarer Weise miteinander gemein haben. Diese Klangverwandtschaft ist eine variable, weil sie nicht an bestimmte feste, beim Wechsel des Stimmtons konstante Formanten gebunden ist, sondern weil diese Formanten dem Stimmton relativ nahe liegende Obertöne sind und mit dem Stimmton selbst nach dem durch die Obertonreihe bestimmten Gesetze wechseln. Die variable Klangverwandtschaft ist demnach auch die spezifisch musikalische. Von der menschlichen Singstimme ist sie auf die musikalischen Instrumente übergegangen, die aus der künstlichen Umwandlung äußerer Mittel der Geräuschbildung zu klangerzeugenden Werkzeugen entstanden sind. Wie der menschlichen Stimme, so haften übrigens den Klängen unserer musikalischen Instrumente die Spuren dieses Ursprungs auch darin noch an, daß ihnen neben der variabeln das Moment der konstanten Klangverwandtschaft keineswegs fehlt. Vielmehr wird man dieser im weiteren Sinne alle diejenigen Bedingungen zuzählen können, auf denen die spezifischen Klangfärbungen der Instrumente beruhen, insofern auch diese konstante Eigenschaften sind, wenngleich sie nicht durchweg auf bestimmte Formanten von gleich bleibender Tonlage zurückgeführt werden können. So erscheinen uns musikalische Klänge verwandt, wenn bestimmte Ordnungszahlen der Partialtöne fehlen oder im Gegenteil stark vertreten sind. Hier sind in Wahrheit die Partialtöne veränderlich; aber da bei einer gegebenen Klangform stets die gleichen Eigenschaften derselben wiederkehren, so wird dieser Fall dem Gebiet der konstanten Klangverwandtschaft zuzurechnen sein. Daher kommen dann zuweilen auch noch konstante Obertöne, meist von bedeutender Tonhöhe, die aus gleichförmigen Bedingungen der Klangerzeugung entspringen, und die sich, da sie stark interferieren, als wirkliche Geräuschelemente dem Klang beimengen.

Im Gegensatz hierzu ist nun die variable Klangverwandtschaft von den Tonhöhen der Einzelklänge selbst abhängig. Sie beruht daher in erster Linie darauf, daß in jedem zusammengesetzten Klang der Grundton von höheren Obertönen begleitet wird, deren Schwingungszahlen das 2-, 3-, 4fache usw. der Schwingungszahl des Grundtons betragen, und deren Intensität im allgemeinen rasch abnimmt, so daß sie höchstens bis zum zehnten Partialton zu berücksichtigen sind. Ein Klang von der hier vorausgesetzten Beschaffenheit entspricht nach früheren Erörterungen dem allgemeinsten Schwingungsgesetz tönender Körper, indem diese in der Regel, während sie als ganze schwingen, zugleich in ihren einzelnen Teilen Schwingungen ausführen, die sich wie die Reihe der einfachen ganzen Zahlen verhalten[1]. Wo vermöge besonderer Bedin-

[1] Vgl. oben S. 72 f.

gungen der Klangerzeugung einzelne Glieder dieser Reihe ausfallen, da werden doch in größeren harmonischen Zusammenklängen solche Lücken regelmäßig ergänzt. Einen in der angegebenen Weise von gerad- und ungeradzahligen Obertönen mit rasch abnehmender Intensität begleiteten Klang können wir darum einen vollständigen Klang nennen. In der Tat ist ein solcher, da sein eigener, konstanter Charakter unverändert bleibt, am besten geeignet, die Eigenschaften dieser von der Tonhöhe abhängigen variabeln Klangverwandtschaft zu untersuchen. Dabei lassen sich aber zwei Fälle dieser variabeln oder spezifisch musikalischen Klangverwandtschaft unterscheiden. Entweder sind verschiedene Klänge direkt verwandt, indem sie gewisse Bestandteile unmittelbar miteinander gemein haben; oder sie sind indirekt verwandt, insofern sie selbst Bestandteile eines und desselben Grundklanges ausmachen. Natürlich können beide Formen bei den nämlichen Klängen gleichzeitig vorkommen. So sind z. B. die das Quintintervall bildenden Töne *c* und *g* direkt verwandt, da mehrere ihrer Obertöne, wie g^1, g^2 .... zusammenfallen: indirekt, weil sie beide in dem um eine Oktave tieferen Klang *C* als Obertöne vorkommen. Aber die verschiedenen Bedingungen bei der sukzessiven und der simultanen Auffassung der Klänge bringen es mit sich, daß die direkte Klangverwandtschaft vor allem bei der Aufeinanderfolge der Einzelklänge hervortritt, während die indirekte zunächst für die Zusammenklänge bestimmend ist.

Zur Untersuchung der im folgenden zu erörternden Verhältnisse der direkten und der indirekten Klangverwandtschaft sowie der auf ihnen sich aufbauenden Eigenschaften der Akkorde und der Klangfolgen bedarf man instrumenteller Hilfsmittel, bei denen die Tonquellen einerseits eine feste Stimmung besitzen, anderseits aber rein, d. h. nach den Verhältnissen der genauen physikalischen Intervalle abgestimmt sind. Eine solche reine Stimmung besitzen bekanntlich unsere gewöhnlichen Instrumente mit fester Stimmung, wie das Klavier, die Orgel, das Harmonium, nicht, sondern es ist bei ihnen, um die Zahl der innerhalb der Oktave bei verschiedenen Tonarten zu verwendenden Töne auf das notwendigste Maß zu beschränken, die von den Musikern sogenannte »temperierte Stimmung« angewandt. Bei psychologischen Versuchen muß man sich darum entweder eines Harmoniums mit »reiner Stimmung« bedienen, welches nach dem System von Poole an Stelle des gewöhnlichen 12-stufigen ein 53-stufiges temperiertes System innerhalb der Oktave besitzt, oder, in Ermangelung eines solchen, eines Appunnschen »Obertöneapparates«, der ein *C* von 32 Schwingungen und seine 64 Obertöne in rein gestimmten Zungenpfeifenklängen enthält, und im übrigen genau so wie der früher (Fig. 179, S. 92) beschriebene Tonmesser konstruiert ist. Zu spezielleren Zwecken, namentlich für die Untersuchung des unten zu erörternden Verhältnisses der Dur- und Molldreiklänge, hat A. Appunn für das Leipziger psychologische Institut außerdem einen Akkordapparat angefertigt,

der die Töne *c es e g* in verschiedenen Tonlagen nebst den hauptsächlichsten zu ihnen gehörigen Differenz- und Obertönen, ebenfalls in Zungenpfeifenklängen, enthält.

b. Direkte Klangverwandtschaft.

Der Grad der direkten Verwandtschaft der Klänge wird ausschließlich durch ihre Partialtöne bestimmt. Zwei Klänge sind um so näher verwandt, je größer die Zahl und Stärke der Partialtöne ist, die sie gemein haben. Die Stärke der Partialtöne ist aber im allgemeinen von ihrer Ordnungszahl abhängig, indem sie in der Regel mit steigender Ordnungszahl abnimmt. Daraus folgt, daß nur solche Klänge merklich verwandt sind, bei denen die Schwingungsverhältnisse der Grundtöne durch kleine ganze Zahlen ausgedrückt werden. Denn nur wenn diese Bedingung zutrifft, stimmen Partialtöne von niedriger Ordnungszahl überein. Stehen z. B. die Grundtöne in dem Verhältnis der Quinte 2 : 3, so hat der erste Ton die Partialtöne 2, 4, 6, 8, 10, 12 ...., der zweite die Partialtöne 3, 6, 9, 12 .... Hier fällt der 3te Partialton des ersten mit dem 2ten des zweiten Klangs, ebenso der 6te mit dem 4ten, der 9te mit dem 6ten, der 12te mit dem 8ten usw. zusammen. Beiden Klängen sind demnach mehrere Partialtöne von niedriger Ordnungszahl gemeinsam, deren Stärke hinreicht, sie sogleich als verwandte Klänge erscheinen zu lassen. Anders ist dies z. B. mit dem Verhältnis der Sekunde 8 : 9. Hier stimmt erst der 8te Partialton des ersten mit dem 9ten des zweiten Klanges überein, dann wieder der 16te mit dem 18ten usw. Schon die nächsten Partialtöne, die identisch sind, und noch mehr die späteren, besitzen also eine so hohe Ordnungszahl, daß sie jenseits der Grenzen noch empfindbarer Klangbestandteile liegen.

Man hat den Grund für die bevorzugte Stellung bestimmter Tonintervalle zuweilen unmittelbar in dieser Einfachheit der Schwingungsverhältnisse zu finden geglaubt. Nun existieren für unsere Empfindung nicht die Schwingungszahlen, sondern nur die von ihnen abhängigen Beziehungen der Partialtöne. Insofern jedoch die übereinstimmenden Bestandteile zweier Klänge zunehmen, wenn das Verhältnis der Schwingungszahlen einfacher wird, kann das letztere allerdings einen Maßstab der Klangverwandtschaft abgeben. In der Tat geben die Zahlen, welche die Intervalle der Grundtöne messen, immer zugleich an, welche unter den Partialtönen der beiden Klänge identisch sind. Wir gewinnen so, wenn wir uns auf diejenigen Klangverhältnisse beschränken, bei denen die Ordnungszahlen der koinzidierenden Partialtöne hinreichend niedrig sind, daß

die Grenzen merklicher Klangverwandtschaft nicht erheblich überschritten werden, folgende Reihe[1]:

Intervalle (Grundton *C*)	Verhältnis der Schwingungszahlen	Ordnungszahlen der zusammenfallenden Partialtöne	
		des tieferen Tons	des höheren Tons
Oktave *c*	1 : 2	2, 4, 6, ‖8 usw.	1, 2, 3, ‖4 usw.
Doppeloktave c^1	1 : 4	4, ‖8, ∣12, 16	1, ‖2, ∣3, 4
Duodezime *g*	1 : 3	3, 6, ‖9, ∣12	1, 2, ‖3, ∣4
Quinte *G*	2 : 3	3, 6, ‖9, ∣12	2, 4, ∣6, ∣8
Quarte *F*	3 : 4	4, ‖8, ∣12, 16	3, ‖6, ∣9, 12
Große Sexte *A*	3 : 5	5, ‖10, ∣15, 20	3, ‖6, ∣9, 12
Große Terz *E*	4 : 5	5, ‖10, ∣15, 20	4, ‖8, ∣12, 16
Kleine Terz *Es*	5 : 6	6, ‖12, 18, 24	5, ‖10, 15, 20
Verminderte Septime *B*— .	4 : 7	7, ∣14, 21, 28	4, ∣8, 12, 16
Verminderte Quinte *Ges*— .	5 : 7	7, ∣14, 21, 28	5, ∣10, 15, 20
Verminderte Terz *Es*— .	6 : 7	7, ∣14, 21, 28	6, ∣12, 18, 24
Kleine Sexte *As*	5 : 8	8, ∣16, 24, 32	5, ∣10, 15, 20
Kleine Septime *B* . . .	5 : 9	9, ∣18, 27, 36	5, ∣10, 15, 20
Übermäßige Sekunde *D* +	7 : 8	8, ∣16, 24, 32	7, ∣14, 21, 28
Übermäßige Terz *E* + . .	7 : 9	9, ∣18, 27, 36	7, ∣14, 21, 28
Sekunde *D*	8 : 9	9, ∣18, 27, 36	8, ∣16, 24, 32
Große Septime *H*	8 : 15	15, 30, 45, 60	8, 16, 24, 32

In dieser Reihe sind die zusammenfallenden Partialtöne überall bis zum vierten aufgeführt. Um die Ordnung, in welcher die Klänge nach ihrer Verwandtschaft einander folgen, deutlicher übersehen zu lassen, sind diejenigen übereinstimmenden Klangbestandteile, die vor dem 11ten Partialton des tieferen Klangs liegen, durch einen einfachen Vertikalstrich, die vor dem 7ten Partialton durch einen Doppelstrich abgesondert. Im allgemeinen läßt sich annehmen, daß die Partialtöne bis zum 6ten verhältnismäßig leicht wahrnehmbar sind. Wo vor diesem übereinstimmende Klangbestandteile vorkommen, ist daher eine mehr oder weniger deutliche Verwandtschaft vorhanden. Die Partialtöne vom 6ten bis zum 10ten dagegen sind meist so schwach, daß sie für sich allein keine Klangverwandtschaft begründen und höchstens, wenn eine solche schon vorhanden ist, auf den Grad derselben von einigem Einfluß sein können. Die aufgeführten Intervalle trennen sich nun in folgende Gruppen:

[1] Bei der Stimmung der musikalischen Instrumente nach gleichschwebender Temperatur entsprechen die Intervalle nur bei den Oktaven vollständig dem angegebenen Schwingungsverhältnis. Die hierdurch bedingten Abweichungen des Klangs sind zwar klein genug, um die Auffassung der Klangverwandtschaft nicht sehr zu beeinträchtigen. Gleichwohl ist es empfehlenswert, die Verhältnisse der direkten wie der indirekten Klangverwandtschaft nicht an Instrumenten mit temperierter Stimmung, wie z. B. am Klavier oder Harmonium, sondern an solchen mit reiner Stimmung zu untersuchen. (Siehe oben S. 410.)

1) Oktave, Doppeloktave, Duodezime. Sie sind vor allen andern Intervallen dadurch ausgezeichnet, daß die Partialtöne des zweiten Klangs sämtlich mit Partialtönen des ersten zusammenfallen. Der höhere Klang ist also hier eine einfache Wiederholung gewisser Bestandteile des tieferen. Ebenso verhält es sich mit allen weiteren Intervallen, bei denen der Zähler des Schwingungsverhältnisses der Einheit gleich ist, wie 1 : 5, 1 : 6 usw. Indem hier überall der höhere Klang nur die Obertonreihe des tieferen von einer bestimmten Stelle an reproduziert, liegt ein unvollständiger Einklang, nicht eigentlich ein Fall von Klangverwandtschaft vor. Je höher bei dem unvollständigen Einklang der zweite im Verhältnis zum ersten Klange liegt, um so kleiner wird übrigens die Reihe deutlich wahrnehmbarer Partialtöne, die zusammenfallen, um so unvollständiger erscheint daher der Einklang. Dieser ist bei der Doppeloktave schon viel schwächer als bei der Duodezime und vermindert sich noch mehr bei den weiter gegriffenen Intervallen, bei denen schließlich gar keine deutlich wahrnehmbaren Partialtöne mehr wirklich zusammenfallen, weil die des höheren Tons erst da beginnen, wo die des tieferen bereits aufgehört haben.

2) Duodezime und Quinte würden Intervalle von gleichem Verwandtschaftsgrad sein, wenn sich dieser bloß nach den übereinstimmenden Partialtönen und ihrer Ordnungszahl bestimmen ließe. Bei beiden sind bis zur 6ten Stufe des tieferen Klangs zwei, bis zur 10ten drei identische Partialtöne vorhanden. Aber diese Intervalle geben zugleich augenfällige Beispiele für die Verschiedenheit des unvollständigen Einklangs und der Klangverwandtschaft. Die Duodezime ist eine höhere Wiederholung der Quinte, bei der alle nicht übereinstimmenden Partialtöne des zweiten Klangs weggeblieben sind. Unter denjenigen Klangverhältnissen, die im eigentlichen Sinne verwandt genannt werden können, nimmt somit die Quinte die erste Stelle ein. Sie ist das einzige Intervall, das auf zwei verschiedene Partialtöne des ersten und auf einen verschiedenen des zweiten Klangs je einen übereinstimmenden hat[1].

3) Quarte, große Sexte und große Terz bilden zusammen eine Gruppe von annähernd gleichem Verwandtschaftsgrad. Bei jedem dieser Intervalle ist ein übereinstimmender Partialton innerhalb der fünf ersten, ein zweiter innerhalb der fünf folgenden Stufen der Obertonreihe des Grundklangs enthalten. Das Verhältnis der übereinstimmenden zu den verschiedenen Partialtönen begründet die angegebene Reihenfolge der

[1] Die Reihe der Partialtöne der beiden Klänge wird nämlich bei der Quinte dargestellt durch die Zahlen:

I (C)	2		4	6	8		10	12	14	16
II (G)		3		6		9		12	15	usw.

drei Intervalle. Bei der Quarte kommt nämlich auf 3 auseinanderfallende Partialtöne des ersten und auf 2 des zweiten Klangs, bei der großen Sexte auf 4 und 2, bei der großen Terz auf 4 und 3 je ein identischer Partialton. Die kleine Terz aber unterscheidet sich von jenen drei Intervallen nicht nur durch die höhere Ordnungszahl der zusammenfallenden Partialtöne, sondern auch durch die größere Zahl disparater Klangbestandteile, indem sie erst auf 5 verschiedene Partialtöne des ersten und auf 4 des zweiten Klangs einen übereinstimmenden enthält[1].

Bei allen weiteren Intervallen, die in der obigen Tabelle noch enthalten sind, kann die direkte Klangverwandtschaft als verschwindend klein angesehen werden, da die ersten zusammenfallenden Partialtöne zwischen dem 6ten und 10ten gelegen sind; bei der großen Septime überschreiten sie sogar diese Grenze. Man sieht aber sogleich, daß diejenigen Intervalle, die wir als verwandte kennen gelernt haben, in der Musik als mehr oder weniger harmonische Intervalle Geltung haben, und daß sie nach dem übereinstimmenden Harmoniegefühl im allgemeinen in die nämliche Reihenfolge gebracht worden sind, in die sie nach ihrer Verwandtschaft sich ordnen. Unter den Intervallen, welche erst durch Partialtöne, die über dem 6ten liegen, verwandt sind, wird noch die kleine Sexte als nahe gleichwertig der kleinen Terz betrachtet; in der Tat wird bei ihr die höhere Lage des koinzidierenden Partialtons des ersten Klangs durch die tiefere des zweiten etwas ausgeglichen. Noch näher steht an und für sich die verminderte Septime einer deutlichen Verwandtschaft; sie hat aber, weil sie sich zu mehrstimmigen Akkorden weniger eignet, in der harmonischen Musik keine Verwendung gefunden.

Wie die Quinte ihren Charakter ändert, wenn sie, um eine Oktave höher gelegt, zur Duodezime wird, so tritt dies auch bei den übrigen Intervallen ein. Doch keines derselben wird dabei mehr, wie die Quinte, zu einem unvollständigen Einklang, sondern alle andern bleiben innerhalb der Grenzen eigentlicher Verwandtschaft, wobei deren Grad entweder vermindert oder vergrößert wird. Die Verwandtschaft vermindert sich, wenn die Verhältniszahl des tieferen Klangs eine ungerade, sie vergrößert sich, wenn sie eine gerade Zahl ist. Diese Regel folgt unmittelbar aus der Beziehung der zusammenfallenden Partialtöne zu

[1] Die Reihenfolge der Partialtöne ist bei den genannten vier Intervallen die folgende:

Quarte 3 : 4

I (*C*)	3		6		9	12	15		18		21	24
II (*F*)		4		8		12		16		20		24

Große Sexte 3 : 5

I (*C*)	3		6	9		12	15	18		21	24	
II (*A*)		5			10		15		20			25

Große Terz 4 : 5

I (*C*)	4		8		12		16	20	24		28	
II (*E*)		5		10		15		20		25		30

Kleine Terz 5 : 6

I (*C*)	5		10		15		20		25	30	35		40
II (*Es*)		6		12		18		24		30		36	

den relativen Schwingungszahlen. Ist nämlich die kleinere derselben geradzahlig, so wird durch deren Halbierung das Schwingungsverhältnis der tieferen Oktave gewonnen. Nun ist aber, wie wir sahen, die Verhältniszahl des ersten Klangs zugleich Ordnungszahl für den identischen Partialton des zweiten, die des zweiten Klangs Ordnungszahl für den identischen Partialton des ersten. Demnach wird in diesem Fall auch die Ordnungszahl der identischen Partialtöne des zweiten Klangs auf die Hälfte herabgesetzt, während die des ersten ungeändert bleibt. Ist dagegen die kleinere relative Schwingungszahl ungeradzahlig, so kann das Schwingungsverhältnis der Oktave nur durch Verdoppelung der größeren erhalten werden. Jetzt bleibt daher die Ordnungszahl der Partialtöne des zweiten Klangs ungeändert, während die des ersten verdoppelt wird. Von allen Intervallen mit deutlicher Klangverwandtschaft wird demnach nur bei der Quinte und großen Terz durch den Übergang zur Oktave die Verwandtschaft verstärkt. Die Quinte entfernt sich durch den Übergang zur Duodezime sogar aus dem Bereich der eigentlichen Klangverwandtschaft, indem sie zu einer der Oktave analogen Klangwiederholung wird. Die große Terz wird zur großen Dezime mit dem Schwingungsverhältnis 2 : 5, wobei schon der 2te Partialton des zweiten Klangs mit dem 5ten des ersten zusammenfällt. Bei allen andern konsonanten Intervallen vermindert sich die Klangverwandtschaft: so beim Übergang der Quarte zur Undezime (3 : 8), der großen Sexte zur Tredezime (3 : 10), der kleinen Terz zur kleinen Dezime (5 : 12)[1].

Die direkte Klangverwandtschaft ist nun als solche gebunden an die Aufeinanderfolge der Klänge. Sie tritt hier unmittelbar dadurch hervor, daß bei dem Wechsel der Klänge die übereinstimmenden Partialtöne bestehen bleiben. So dauern beim Übergang vom Grundton zur Quinte der 3te, 6te .... Partialton des ersteren fort, während sich die übrigen verändern. In dem Zusammenklang ist dagegen die direkte Verwandtschaft nicht als solche erkennbar. Dafür bilden dann aber hier die verwandten Klänge einerseits wegen der Koinzidenz zahlreicher Partialtöne relativ einfachere Verbindungen. Anderseits sind die übereinstimmenden Partialtöne selbst intensivere Bestandteile des ganzen Empfindungskomplexes als die übrigen Obertöne; sie können so bei Klängen mit starken Ober-

[1] Als Beispiele für das verschiedene Verhalten dieser beiderlei Intervalle seien hier die Partialtöne der großen Terz und Quarte mit ihren Oktavversetzungen angeführt:

Große Terz

I (*C*)	4		8		12		16	20
II (*E*)		5		10		15		20

Große Dezime

I (*C*)	2	4		6	8	10
II (*e*)			5			10

Quarte

I (*C*)	3		6		9	12	15	
II (*F*)		4		8		12		16

Undezime

I (*C*)	3	6		9	12	15		18	21	24
II (*f*)			8				16			24

tönen nahezu die Intensität der Grundtöne erreichen. Auf diese Weise helfen daher die übereinstimmenden Obertöne zunächst mit bei jener Entstehung der Klangeinheit, durch welche sich die konsonanten Zusammenklänge wiederum den Einzelklängen nähern, während doch die Zusammensetzung aus einer Mehrheit von Tönen deutlicher als bei diesen ausgeprägt ist. Außerdem aber sind es die koinzidierenden Obertöne, die durch die Verstärkung bestimmter Partialtöne der Klangmasse die charakteristische Tonfärbung des Zusammenklangs wesentlich mitbestimmen. In dieser Beziehung nähert sich das einfachste harmonische Intervall, die Quinte ($c:g$), am meisten in seinen akustischen Bedingungen durch die Koinzidenz nahe liegender Obertöne, die wieder einfache Oktavversetzungen des einen der beiden Grundtöne sind (g^1, g^2), einem wirklichen Einzelklang. Daraus erklärt sich die bekannte Tatsache, daß die Musik Quintenfolgen in der Melodie ebenso wie unausgefüllte Quinten bei konsonanten Zusammenklängen zu vermeiden pflegt. Sie klingen uns leer und einförmig, weil sie der Klangwiederholung und dem Einklang immer noch allzu nahe stehen. Unter den übrigen Intervallen sind die Quarte ($c:f$) und die große Terz ($c:e$) ebenfalls dadurch ausgezeichnet, daß ihre übereinstimmenden Partialtöne Oktavversetzungen eines Grundtons sind: es ist dies aber bei ihnen nicht der höhere, sondern der tiefere derselben (c), und die Koinzidenz tritt erst in einer höheren Oktave ein. Hieraus erhellt zugleich, daß die direkte Klangverwandtschaft, die auf der Übereinstimmung gewisser Partialtöne beruht, zwar *eine* der Bedingungen der Konsonanz enthält, aber keineswegs diese selbst erklärt. Denn die Konsonanz beruht nicht bloß auf jener Empfindung der Klangeinheit, die durch einzelne stärker hervortretende Partialtöne vermittelt werden kann, sondern immer zugleich auf der ihr entgegengesetzten *Unterscheidung von Klängen*, deren Tonhöhen in bestimmten Verhältnissen zueinander stehen. Hiervon überzeugt man sich sehr deutlich, wenn man abwechselnd zuerst die übereinstimmenden und dann die nicht zusammenfallenden Partialtöne eines Zusammenklanges verstärkt. Im ersteren Fall wird lediglich die Empfindung der Klangeinheit vergrößert; bei der Quinte kann dies so weit gehen, daß sie fast wie ein Einzelklang erscheint, der dann bei dem Intervall $c:g$ einem sehr obertonreichen g, der Dominante des Grundtons c, entspricht. Dagegen wird die Leerheit des Zusammenklangs bedeutend gemindert, wenn man gleichzeitig mehrere der nicht koinzidierenden und mit den Haupttönen nicht übereinstimmenden Obertöne verstärkt. Die Prüfung des Einflusses der direkten Klangverwandtschaft weist also unmittelbar auf ergänzende und ihr teilweise entgegenwirkende Bedingungen der musikalischen Harmonie hin, wie wir solche in der Tat in den Verhältnissen der indirekten Klangverwandtschaft kennen lernen werden.

Es ist die gewöhnliche Ansicht, daß die Empfindung der **Klangeinheit der Einzelklänge** durch die viel größere Stärke des Grundtons gegenüber den Obertönen bedingt werde. Diese Ansicht ist aber nur in beschränktem Maße richtig, nur insoweit nämlich, als der Grundton nicht so schwach sein darf, daß er gegen die Obertöne verschwindet. Dagegen wird die Empfindung der Klangeinheit kaum geschwächt, wenn die Obertöne ebenso stark sind wie der Grundton, ja wenn einzelne ihn sogar übertreffen, sondern es wird dadurch immer nur die Klangfarbe verändert, nicht die Vorstellung des Einzelklangs aufgehoben. Man kann sich hiervon an dem Obertöneapparat überzeugen, wenn man z. B. zuerst den Durakkord 4 : 5 : 6 angibt und dann dessen drei Untertöne 1, 2, 3 in gleicher Stärke hinzufügt: die bei dem Dreiklang trotz der auch hier nicht fehlenden Empfindung der Klangeinheit so ausgeprägte Vorstellung eines Zusammenstimmens mehrerer Töne hört dann augenblicklich auf, und man glaubt nur noch einen einzigen Klang von sehr voller Klangfarbe zu hören. Die erste Bedingung für das Zustandekommen der Vorstellung des Einzelklangs ist also, daß in einer Reihe von Partialtönen, deren Schwingungszahlen der Reihe der einfachen ganzen Zahlen entsprechen, der Grundton mit der Schwingungszahl 1 in hinreichender Stärke vorkomme. Daneben wird aber diese Vorstellung der Klangeinheit offenbar auch durch die Verstärkung einzelner Obertöne infolge ihrer Koinzidenz begünstigt. Denn wenn man relativ obertonfreie Stimmgabelklänge unter sonst gleichen Bedingungen anwendet, indem man mittels der in Fig. 177, S. 90 geschilderten Vorrichtungen die Töne der in gleicher Stärke ausklingenden Stimmgabeln simultan auf das Ohr einwirken läßt, so erhält man jenen Eindruck der Klangeinheit durchaus nicht in gleichem Grade.

Abweichend von den beim Einzelklang gegebenen Bedingungen verhält sich die Vorstellung des **Zusammenklangs**. Insoweit nicht durch Kombinationstöne eine Annäherung an den Einzelklang herbeigeführt wird, auf die wir unten zurückkommen werden, liegen hier Motive der **Klangeinheit** in den zusammenfallenden, der **Klangverschiedenheit** in den nicht zusammenfallenden Partialtönen. Die Empfindung der Klangeinheit überwiegt, wenn die übereinstimmenden Partialtöne vorherrschen. Zugleich bildet aber ihr **Verhältnis zu den Grundtönen** einen Hauptfaktor für die Bestimmung des musikalischen Charakters der Akkorde; ein zweiter liegt in den **Nebenintervallen**, die durch die Verhältnisse einzelner Partialtöne zueinander entstehen, und unter denen wieder die Verhältnisse der dominierenden Obertöne eine Hauptrolle spielen. Für die Hauptakkorde Quinte, Quarte, Gr. Terz, Kl. Terz, Gr. Sexte, Kl. Sexte übersieht man dies aus der folgenden Übersicht:

Grundtöne:		Obertöne:							
Quinte	$c : g$	c^1	$\underline{g^1}$	c^2	d^2	e^2	$\underline{g^2}$	b^2	h^2
Quarte	$c : f$	c^1	f^1	g^1	$\underline{c^2}$	e^2	f^2	g^2	a^2
Große Terz	$c : e$	c^1	e^1	g^1	h^1	c^2	$\underline{e^2}$	g^2	ges^2
Kleine Terz	$c : es$	c^1	es^1	g^1	b^1	c^2	es^2	e^2	$\underline{g^2}$
Große Sexte	$c : a$	c^1	g^1	a^1	c^2	$\underline{e^2}$	g^2	a^2	b^2
Kleine Sexte	$c : as$	c^1	g^1	as^1	c^2	es^2	e^2	g^2	$\underline{c^3}$

Die Obertöne sind bis zum 8ten angegeben, ausgenommen beim letzten Intervall, wo statt des 8ten der 10te genommen wurde, weil er ein Koinzidenzton ist. Die zusammenfallenden Partialtöne sind unterstrichen. In bezug auf das Verhältnis dieser zu den Grundklängen zerfallen die angeführten Intervalle in drei Gruppen: bei der ersten (Quinte und gr. Terz) ist der dominierende Partialton eine Oktavwiederholung des zweiten Tones; bei der Quarte und kl. Sexte ist er eine Oktavwiederholung des ersten Tones, doch liegt er bei letzterem Intervall sehr hoch, um eine 3fache Oktave entfernt; endlich bei der kl. Terz und gr. Sexte stimmen die dominierenden Obertöne mit keinem der Grundtöne überein. Man überzeugt sich nun z. B. bei wechselnder Verstärkung der Partialtöne leicht, daß der Charakter der Quinte vorzugsweise von dem dominierenden g und nebenbei noch von den Akkordbestandteilen $g^1 c^2$ (Quarte), $c^2 e^2$ (gr. Terz) und $e^2 g^2$ (kl. Terz) bestimmt wird. Je mehr die Quintwiederholungen $c^1 g^1$, $c^2 g^2$ überwiegen, um so leerer klingt die Quinte; je stärker die höheren Terzen mitklingen, um so konsonanter erscheint sie. Der Unterschied der großen und kleinen Terz wird hauptsächlich dadurch bestimmt, daß bei der ersteren der dominierende Oberton eine Wiederholung des höheren Grundtones ist, während er bei der zweiten nicht den Grundtönen selbst angehört, sondern den tieferen derselben zur Quinte ergänzt. In bezug auf die Akkordbestandteile ihrer Obertöne sind beide Intervalle sehr gleichförmig aufgebaut, da bei ihnen die Terzenfolgen, gr. Terz—kl. Terz im einen, kl. Terz—gr. Terz im andern Fall, durchaus überwiegen. Daß der dominierende Oberton der Quarte die Oktavwiederholung des tieferen, nicht des höheren Grundtones ist, bedingt hauptsächlich ihren verschiedenen Klangcharakter gegenüber der Quinte und gr. Terz. Die Quarte nähert sich daher dem Quintcharakter, wenn man statt des c^2 das f^2 verstärkt, ebenso wie sich die Quinte und gr. Terz umgekehrt in ihrem Klangcharakter der Quarte nähern, wenn man statt des g^1, g^2 und e^2 beidemal das c^2 verstärkt. Als Nebenintervalle wirken, abgesehen von den Quartwiederholungen der Obertöne, namentlich die Quinten ($c^1 g^1$, $c^2 g^2$) und Terzen ($c^2 e^2$, $e^2 g^2$, $f^2 a^2$). Die große Sexte hat einen mit keinem der Grundtöne übereinstimmenden dominierenden Oberton. Wie bei der kleinen Terz dieser Oberton eine Quintergänzung des tieferen, so bildet derselbe aber bei der Sexte eine Quintergänzung des höheren der beiden Grundtöne ($c a e^2$); auch als Nebenintervalle wiegen neben den Sextwiederholungen die Quinten vor ($c^1 g^1$, $a^1 e^2$, $c^2 g^2$). Dadurch erscheint das Intervall nach seinem Klangcharakter als eine minder konsonante Nachbildung der Quinte. Im übrigen aber zeichnen sich die beiden Sexten durch ihre große und darum unübersehbare Zahl von Nebenintervallen (Quinten, Quarten und Terzen) aus, durch die sie in einen starken Gegensatz zu den auch in dieser Beziehung so viel regelmäßiger aufgebauten vorangegangenen Intervallen treten. Diese Eigenschaft verleiht ihnen einen Charakter harmonischer Unbestimmtheit, durch den sie sich ebenso sehr von den streng konsonanten, wie von den vollkommen dissonanten Intervallen unterscheiden. Experimentell prägt sich dies darin aus, daß man durch willkürliche Verstärkung einzelner der Nebenintervalle ihren Charakter bald diesem bald jenem einfacheren Grundintervall ähnlich gestalten kann.

In dem hier erörterten Einfluß der Nebenintervalle ist zugleich die Grundlage gegeben für das nähere Verständnis jener früher (S. 337 f.) bereits be-

sprochenen Unterschiede der Klangfärbung der Einzelklänge, welche musikalische Klangquellen je nach der verschiedenen Beschaffenheit der mit den Einzeltönen sich verbindenden Obertöne auszeichnet. Die unbestimmten Ausdrücke, mit denen man die Klangfärbung verschiedener Instrumente zu schildern pflegt, sind nicht nur an sich wenig bezeichnend, sondern sie lassen auch die Ursachen dieser besonderen Wirkung des Einzelklanges ganz dahingestellt. Diese Ursachen können aber nur mit denen der Wirkung des Zusammenklanges übereinstimmend sein, wie daraus hervorgeht, daß die Effekte gewisser Klangfärbungen denjenigen bestimmter Zusammenklänge unmittelbar verwandt erscheinen. Auch hiervon überzeugt man sich leicht an dem Obertöneapparat, an welchem Klangfärbungen willkürlich hervorgebracht, verstärkt oder modifiziert werden können, je nachdem man in wechselnder Weise Obertöne zu einem bestimmten Grundton hinzufügt. Hierbei wirken nun die hinzutretenden Obertöne offenbar genau in derselben Weise, wie bei der Verbindung mit bestimmten Zusammenklängen. So verdankt denn auch sichtlich z. B. ein Klang mit der vollen Obertonreihe 2, 3, 4, 5, 6 ... seine harmonische Fülle wesentlich den in ihm annähernd gleichmäßig vertretenen harmonischen Obertonintervallen der Quinte, Quarte und der beiden Terzen. Klänge, wie diejenigen gezupfter Saiten, in denen vorzugsweise die geradzahligen Partialtöne 2, 4, 6, 8 ... vertreten sind, lassen die Leerheit des reinen Oktaven- und Quintenschrittes ihrer Nebentöne nicht verkennen, während dagegen die durch die ungeradzahligen Obertöne 3, 5, 7 ... ausgezeichneten Klänge der Klarinetten, Oboen und Fagotte schon im Einzelklang eine Verwandtschaft mit dem Sextintervall darbieten. Noch fehlt es an einer zureichenden Einzeluntersuchung der Instrumentalklänge mit Rücksicht auf diese Beziehungen zu bestimmten konsonanten Zusammenklängen. Auch würde es sich lohnen nachzuweisen, wie das musikalische Klanggefühl der Komponisten bei der Wahl der Instrumentation unbewußt von dieser Verwandtschaft zwischen Klangfärbung und Zusammenklang geleitet wurde.

c. Indirekte Klangverwandtschaft.

Von der direkten Verwandtschaft verschiedener Klänge scheidet sich die indirekte Verwandtschaft als diejenige, die in der Beziehung zu einem gemeinsamen Grundklang begründet ist. Indirekt verwandt werden wir nämlich solche Klänge nennen können, in denen Bestandteile enthalten sind, die einem und demselben dritten, von jenen beiden Klängen verschiedenen Einzelklang angehören (S. 410). Die indirekte Verwandtschaft kann vorhanden sein, auch wenn die direkte fehlt oder schwach ausgebildet ist, da die letztere die Existenz deutlich empfindbarer Obertöne zu ihrer Voraussetzung hat. Dagegen ist die direkte ihrerseits immer auch mit indirekter Verwandtschaft verbunden. Denn nach den allgemeinen Gesetzen der Klangerzeugung und Klangempfindung bilden die übereinstimmenden Obertöne verwandter Klänge zugleich Obertöne eines tieferen Klangs, wel-

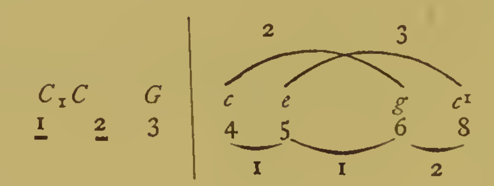
cher demnach als ihr gemeinsamer Grundklang betrachtet werden kann. In der Quinte 2 : 3 sind z. B. die Grundtöne eines jeden Klanges die nächsten Obertöne eines tieferen Klanges von der Schwingungszahl 1. Weiterhin sind aber auch die höheren Partialtöne 4, 6, 8 .... und 6, 9, 12 .... Obertöne des nämlichen Grundklanges. Ebenso hat für alle andern Intervalle, sobald man dieselben in den einfachsten ganzen Zahlen ausdrückt, der Grundklang, in welchem die Partialtöne der beiden Klänge als höhere Obertöne enthalten sind, die Schwingungszahl 1.

Ähnlich wie der Grad der direkten Verwandtschaft nach der Nähe, der Stärke und Anzahl der koinzidierenden Obertöne, so wird nun die indirekte Klangverwandtschaft nach den entsprechenden Eigenschaften der zugehörigen Grundklänge zu bemessen sein. Indem die Stärke der Partialtöne im allgemeinen mit steigender Ordnungszahl abnimmt, werden die Einzelklänge eines Zusammenklangs um so mehr als Bestandteile eines solchen gemeinsamen Grundklanges aufgefaßt werden können, je nähere Partialtöne desselben sie sind. In allen den Fällen aber, in denen die direkte Verwandtschaft auf einer bloßen Wiederholung gewisser Partialtöne des einen Klangs durch die des andern, ohne gleichzeitige Verschiedenheit anderer Partialtöne, beruht, wie bei Oktave, Duodezime, Doppeloktave usw., fällt auch in bezug auf die indirekte Verwandtschaft der gemeinsame Grundklang unmittelbar mit dem tieferen der beiden Töne zusammen. Darum kann hier von einer indirekten Verwandtschaft im eigentlichen Sinne ebenfalls nicht mehr die Rede sein: der höhere Klang ist selbst ein Bestandteil des tieferen, beide sind nicht erst in einem und demselben dritten Klange enthalten. Auch in dieser Beziehung besitzen also, ähnlich wie nach ihrer direkten Verwandtschaft, jene einfachsten Intervalle, wenn die Töne gleichzeitig angegeben werden, mehr den Charakter von Einzelklängen als von wirklichen Zweiklängen. Die im engeren Sinne verwandten Intervalle ordnen sich dann aber weiterhin in derselben Reihenfolge aneinander, wie nach ihrer direkten Verwandtschaft. Dies zeigt die folgende kleine Tabelle, die zu jedem der Intervalle den primären Grundklang und dessen Entfernung angibt:

Intervall	Grund-klang	Entfernung desselben nach unten	
		vom tieferen	vom höheren Klang
Quinte (*C* : *G*)	C_1	Oktave	Duodezime
Quarte (*C* : *F*)	F_2	Duodezime	Doppeloktave
Große Sext (*C* : *A*) . . .	F_2	Duodezime	Doppeloktave und Terz
Große Terz (*C* : *E*) . . .	C_2	Doppeloktave	Doppeloktave und Terz
Kleine Terz (*C* : *Es*) . .	As_3	Doppeloktave und Terz	Doppeloktave und Quinte

So lange nun verschiedene Klänge nur in ihrer Aufeinanderfolge einwirken, ist allein die Beziehung durch direkte Verwandtschaft unmittelbar durch die im Wechsel dauernden Tonelemente in der Empfindung gegeben. Die indirekte Verwandtschaft kann hier bloß in der Form einer assoziativen Beziehung vorhanden sein, vermöge deren Töne, die fortwährend als zusammengehörige Elemente eines Einzelklangs empfunden werden, auch dann, wenn sie sukzessiv auftreten, auf den herrschenden Bestandteil jenes Einzelklangs, den Grundton, zurückbezogen werden. Anders verhält sich dies beim harmonischen Zusammenklang. Während sich bei ihm die übereinstimmenden Töne aus Elementen, die bei der Aufeinanderfolge der Klänge deren direkte Verwandtschaft bestimmen, in koinzidierende Töne, also in stärkere und darum charakteristische Akkordbestandteile umwandeln, werden zugleich die Grundklänge zu wirklichen Bestandteilen der Empfindung. Denn infolge des Zusammentreffens der Tonwellen entstehen Differenztöne, unter denen der erste, derjenige, dessen Schwingungszahl der Differenz der beiden Haupttöne entspricht, am stärksten ist (S. 105 ff.). Stets fällt aber der Differenzton bei solchen Intervallen, deren Schwingungsverhältnis um eine Einheit verschieden ist, mit dem Grundklang zusammen: dieser wird also beim Zusammenklang selbst gehört. Je näher daher der Differenzton den direkt angegebenen Klängen liegt, um so mehr gleicht der Zusammenklang qualitativ einem vollständigen Einzelklang. Entfernt er sich weiter, so bleibt zwischen ihm und dem angestimmten Intervall ein größerer Zwischenraum unausgefüllt, der gerade solchen Partialtönen entspricht, die in einem vollständigen Klang sehr deutlich zu hören sind: hier bildet daher der Differenzton mit den direkt angegebenen Klängen eine unvollkommenere Klangeinheit. So hat die Quinte 2 : 3 den Differenzton 1: sie umfaßt mit ihm zusammen die drei tiefsten Partialtöne eines vollständigen Klanges. Dagegen fällt schon bei der Quarte, die mit ihrem Differenzton den Dreiklang 1 : 3 : 4 bildet, der 2te Partialton aus; bei der großen Terz (1 : 4 : 5) ist dasselbe mit dem 2ten und 3ten, bei der kleinen Terz (1 : 5 : 6) sogar mit dem 2ten, 3ten und 4ten Partialton der Fall. Demnach ist bei der Quinte die indirekte Klangverwandtschaft am größten: im Zusammenklang ist sie die getreue Nachbildung eines vollständigen Klangs, nur dadurch von diesem verschieden, daß der Grundton geschwächt, und daß die zwei ersten Partialtöne verstärkt sind. Dagegen wird bei der Quarte, der großen und kleinen Terz die Verwandtschaft eine unvollkommenere. Indem aber in der Musik die große Terz die Quinte ergänzt, erzeugt sie mit ihr zusammen eine vollkommenere Nachbildung des vollständigen Klangs. Die Quarte und kleine Terz sind dann in gewissem Sinne Umkehrungen der Quinte und großen Terz. Nimmt man nämlich statt des

tieferen Tons der Quarte dessen höhere Oktave, so ist das neu entstehende Intervall $F : C$ eine Quinte: man kann daher auch die Quarte als eine Quinte betrachten, deren höherer Ton um eine Oktave vertieft ist. Ergänzt man ferner die Quinte durch die große Terz, so entsprechen dem hierdurch entstehenden Dreiklang die Schwingungsverhältnisse 4 : 5 : 6, wo 4 : 6 die Quinte, 4 : 5 die große Terz, das dritte Intervall 5 : 6 aber eine kleine Terz ist. Die letztere ergänzt so in ähnlicher Weise die große Terz zur Quinte, wie diese durch die Quarte zur Oktave ergänzt wird. Durch das Zusammenwirken dieser Intervalle in mehrstimmigen Akkorden kann daher eine Reihe tiefer liegender Grundklänge teils assoziativ erregt werden, teils auch direkt entstehen, infolge der Bildung von Differenztönen, auf denen die unmittelbaren Akkordbestandteile als zugehörige Elemente der nämlichen Klangeinheit sich aufbauen. So entsprechen dem durch die Quartergänzung der Quinte aus dem Dreiklang entstehenden Vierklang $c e g c^1$ folgende Grundklänge:



Mit dieser Ergänzung entspricht also der Akkord in seiner qualitativen Zusammensetzung aus elementaren Tonempfindungen vollständig einem Klang C_1 mit seinen Obertönen. Doch während im Einzelklang der tiefste Ton dominiert, herrschen im Akkord bestimmte höhere Töne vor; die Grundklänge werden nur schwach mitgehört, und in der Klangfolge bilden sie sogar nur die assoziativen Beziehungspunkte der direkt gehörten Töne. Diesem Unterschied in dem Intensitätsverhältnis der Klangbestandteile entspricht ein analoger der zusammengesetzten Klangform. Durch den als Grundklang wirkenden Differenzton und dessen harmonische Obertöne wird auch bei dem Zusammenklang eine einheitliche Schwingungsform erzeugt. Indem aber diese gegenüber den Schwingungen der in sie eingehenden Einzelklänge nur schwach angedeutet ist, kann sie auch in der Empfindung nur schwächer sich ausprägen.

Bei den Intervallen, deren Grundklang eine tiefere Oktave des tieferen der beiden direkten Klänge ist, also bei Quinte und großer Terz, tritt die indirekte Verwandtschaft der Klänge am deutlichsten hervor, teils weil die assoziative Erregung eines tieferen Oktaventons wegen der Klangeinheit der Oktaven leichter geschieht als die eines andern Intervalls, teils weil aus ähnlichem Grunde beim Zusammenklang der Grundklang deutlicher empfunden wird. Ungünstiger verhält sich in dieser Beziehung

schon die Quarte, die auch darin als die Umkehrung der Quinte erscheint, daß bei ihr nicht der tiefere, sondern der höhere der beiden Klänge eine Oktavenversetzung des Grundklangs ist. Noch mehr trübt sich die Beziehung zu diesem bei der kleinen Terz sowie bei denjenigen Intervallen, deren einfachste Schwingungsverhältnisse um mehr als eine Einheit verschieden sind, wie der großen Sext (3 : 5), der kleinen Sext (5 : 8), kleinen Septime (5 : 9) usw. Bei der großen Sext ist der Grundklang die tiefere Quinte, bei der kleinen Septime die tiefere große Terz, bei der kleinen Sext die tiefere große Sext des ersten Klangs.

Direkte und indirekte Klangverwandtschaft treffen nun aber nicht nur immer zusammen, sondern es sind auch je zwei Klänge sowohl direkt als indirekt immer im gleichen Grade verwandt, sofern wir als Maß der direkten Verwandtschaft die Entfernung des ersten gemeinsamen Obertons vom höheren, als Maß der indirekten die Entfernung des gemeinsamen Grundtons vom tieferen der beiden Töne betrachten können. So ergibt sich aus der auf S. 412 mitgeteilten Tabelle, daß bei der Quinte der nächste zusammenfallende Oberton der 3te Partialton, also die Duodezime, des ersten, und der 2te, also die Oktave, des zweiten Klangs ist: nach der kleinen Tafel auf S. 420 liegt aber der Grundklang der Quinte eine Oktave unter dem tieferen, eine Duodezime unter dem höheren Ton. Ähnlich bei den übrigen Intervallen. Der gemeinsame Grundton liegt daher bei allen Intervallen ebenso weit von dem tieferen wie der gemeinsame Oberton von dem höheren der beiden Klänge entfernt. Aber während der letztere immer gehört wird, ob man nun die Klänge gleichzeitig oder sukzessiv angibt, kann der erstere nur beim Zusammenklang zu einem wirklichen Bestandteil der Empfindung werden.

Weniger einfach gestaltet sich die Beziehung der beiden Arten der Klangverwandtschaft, wenn statt zweier Klänge drei oder mehrere sei es in der Form der Aufeinanderfolge, sei es in der des Zusammenklangs sich verbinden. Die Zahl der allen Klängen gemeinsamen Partialtöne nimmt hier natürlich mit der Zahl der verbundenen Klänge ab, dagegen werden dieselben durch ihre mehrfache Häufung stärker gehoben. Ähnlich verhält es sich mit dem gemeinsamen Grundton. Dieser drängt sich, als koinzidierender Differenzton mehrerer Zweiklänge, intensiver zur Auffassung und erscheint darum deutlicher als Grundton der ganzen Klangmasse. Dazu ist auch hier wieder erforderlich, daß der Grundton den zusammenwirkenden Klängen hinreichend nahe liegt, um mit ihnen eine Klangeinheit bilden zu können. Die mehrfachen Klangverbindungen unterscheiden sich aber von dem Zweiklang außerdem wesentlich dadurch, daß bei ihnen der gemeinsame Grundton und Oberton nicht

mehr gleich weit von den direkt angegebenen Klängen entfernt sind. Der Dreiklang, der für alle diese zusammengesetzteren Klangverbindungen den Ausgangspunkt bildet, ist in diesem Sinne, im Gegensatze zu den symmetrisch gebildeten Zweiklängen, eine asymmetrische Verbindung. Auf diesem Verhältnis beruht, wie A. von Oettingen[1] gezeigt hat, der charakteristische Gegensatz der Dur- und Mollakkorde. Bei den Durakkorden klingt der gemeinsame Grundton in dem Zusammenklang als unmittelbarer Differenzton mit und bildet mit den Haupttönen des Akkords eine deutliche Klangeinheit. Bei den Mollakkorden tritt er nur als ein Differenzton höherer Ordnung auf, der eine weit geringere Intensität besitzt, überdies aber mit keinem der Haupttöne übereinstimmt. Beispielsweise mögen der *C*-Dur- und der *C*-Mollakkord in ihre Klangbestandteile zergliedert werden. Die Haupttöne des ersteren sind $c:e:g$ mit den Schwingungszahlen 4 : 5 : 6. Der gemeinsame Grundton 1 ist das 2 Oktaven unter *c* liegende C_1, welches als gleichzeitiger Differenzton von $c:e$ und $e:g$ deutlich den Akkord begleitet; nebenbei wird schwächer der Differenzton *C* gehört, welcher der Quinte (4 : 6) entspricht. Da die Obertöne eines jeden Klangs durch Vielfache seiner Schwingungszahl ausgedrückt werden, so muß ferner der erste gemeinsame Oberton einem Vielfachen der Schwingungszahl eines jeden der drei Töne entsprechen, d. h. diese Zahl muß durch 4, 5 und 6 teilbar sein. Der übereinstimmende Oberton hat also die Schwingungszahl 60: es ist dies der 10te Partialton des *g*, das um 3 Oktaven und eine Terz von ihm entfernte h^3. Für den Mollakkord $c:es:g$ ist 10 : 12 : 15 das einfachste Verhältnis der Schwingungszahlen. Sein gemeinsamer Grundton ist wieder 1, d. h. derjenige tiefere Ton, dessen 10ter Partialton *c* ist. Dies ist das 3 Oktaven und eine Terz unter *c* liegende As_3, welches zu keinem der Intervalle Differenzton erster Ordnung ist und beim Anstimmen des Akkords nur bei höherer Lage der primären Töne gehört wird. Die hörbaren Differenztöne haben die Zahlen 2, 3 und 5, sie sind As_2, Es_1 und *C*; sie koinzidieren nicht, keiner ist daher als gemeinsamer Bestandteil der ganzen Klangverbindung ausgezeichnet; nur der zweite und dritte wiederholen sich im Akkord als höhere Oktaven. Der erste übereinstimmende Oberton dagegen hat abermals die Schwingungszahl 60, er ist der 4te Partialton oder die 2te Oktave des Tones *g*, das g^2. Beim Anschlagen des Akkords *c es g* hört man daher dieses g^2 deutlich mitklingen, während jener identische Partialton h^3 des Akkords *c e g* wegen seiner hohen Ordnungszahl kaum mehr wahrgenommen werden kann. Beide Zusammenklänge unterscheiden sich also dadurch, daß die Töne des Durakkords

[1] A. von Oettingen, Harmoniesystem in dualer Entwickelung. 1866.

als Bestandteile eines einzigen Grundklangs erscheinen, die des Mollakkords unmittelbar einen hohen gemeinsamen Partialton besitzen. Beide Zusammenklänge ergänzen sich aber wiederum insofern, als der gemeinsame Grundton des Durakkords ebenso weit unter dem tiefsten Hauptton, wie der gemeinsame Oberton des Mollakkords über dem höchsten Hauptton des Zusammenklangs liegt. Jene Gleichheit der Distanz von Grund- und Oberton, die den einzelnen Zweiklang auszeichnet, verteilt sich also hier auf zwei Dreiklänge. Betrachtet man demnach als dominierenden Ton des Akkords in jedem dieser Fälle denjenigen Ton, von dem das eine Mal der gemeinsame Grundton, das andere Mal der gemeinsame Oberton gleichweit entfernt ist, so tritt diese duale Symmetrie noch deutlicher hervor, und man gewinnt auf diese Weise zugleich diejenigen beiden Dreiklänge, die einander nach ihrem Toncharakter wirklich ergänzen. Nimmt man z. B. den Ton *d* als Hauptton, so entspricht dem von ihm aus aufsteigenden Akkord *d fis a* der zwei Oktaven unter *d* liegende Grundton D_1, auf dem sich der Dreiklang selbst als Obertonreihe aufbaut. Demselben Hauptton *d* steht aber der absteigende Akkord *d b g* gegenüber, zu dessen drei Tönen das um zwei Oktaven über *d* liegende d^2 als gemeinsamer Oberton gehört. Dem Durakkord entspricht also die aufsteigende, dem Mollakkord die absteigende Tonbewegung, und zwischen den beiden Tönen D_1 und d^2, von denen diese Bewegungen ausgehen, bildet der Ton *d* die reine Mitte. Dieser Symmetrie der Tonbewegungen in der Empfindung entspricht nun eine ebensolche Symmetrie der objektiven Tonschwingungen: wie die Verhältnisse der Haupttöne des aufsteigenden Dreiklangs durch die Zahlen 4 : 5 : 6, so werden die des absteigenden durch die entsprechenden gebrochenen Zahlen $\frac{1}{4} : \frac{1}{5} : \frac{1}{6}$ ausgedrückt[1]. Unsere musikalische Benennung hat diese Verhältnisse verwischt, indem sie in einseitiger Weise die aufsteigende Bewegung der Dur- auch auf die Molltonleiter anwandte, so daß z. B. den zum *D*-Durakkord gehörigen absteigenden Dreiklang nicht nach dem oberen Ausgangston, sondern nach dem unten liegenden Endton als den *G*-Molldreiklang, den zu dem *C*-Durakkord gehörenden als den *A*-Molldreiklang bezeichnet, usw.[2]

---

[1] Auf den Oberton 60 bezogen entsprechen sie nämlich den oben für den Molldreiklang angegebenen Verhältnissen in absteigender Ordnung: 15 : 12 : 10. OETTINGEN und RIEMANN bezeichnen demgemäß nach dem je zwei auf- und absteigenden Akkorden gemeinsamen Ausgangston die verschiedenen Tonarten durch die Zeichen + für das Dur-, ° für das sogenannte Mollgeschlecht: d^+ bezeichnet also z. B. den Stammakkord *d fis a* (*D*-Dur), d° (oder auch $^\circ d$) den dazu gehörigen absteigenden *d b g* (*G*-Moll).

[2] A. VON OETTINGEN, Harmoniesystem in dualer Entwickelung. 1866. Das duale System der Harmonie, in OSTWALDS Annalen der Naturphilosophie, Bd. 1, 1902, S. 62. H. RIEMANN, Musikalische Syntaxis. 1877, S. 24 ff.

In den angegebenen Verhältnissen der Hauptakkorde liegen, wie VON OETTINGEN in seinem »Harmoniesystem« und, nach verschiedenen Richtungen ergänzend, H. RIEMANN in seiner »musikalischen Syntaxis« ausgeführt hat, die wesentlichsten Regeln der Ton- und Akkordfolge begründet, auf die wir, so weit sie für die psychologische Frage nach dem Wesen der Konsonanz und Dissonanz von Bedeutung sind, unten zurückkommen werden. Es sei darum hier nur noch kurz der Umwandlungen gedacht, welchen die angegebenen Hauptakkorde durch die Umlagerungen unterworfen sind, die einzelne der in sie eingehenden Töne durch die Bewegung in bestimmten Intervallen erfahren. Aus den Stammakkorden der Dur- und Molltonart entspringen nämlich abgeleitete, den ursprünglichen verwandte Dreiklänge, wenn man zuerst die Reihenfolge der Klänge verändert und dann die so entstandenen Intervalle wieder auf den nämlichen Grundton zurückbezieht. So werden z. B. aus den Dreiklängen $c:e:g$ und $c:es:g$ die folgenden vier abgeleiteten Akkorde gewonnen:

$$3)\; e : g : c^1 = c : es : as \quad (\overbrace{\underbrace{5 : 6}_{\text{Kl. Terz}} : \underbrace{8}_{\text{Quarte}}}^{\text{Kl. Sext}})$$

$$4)\; es : g : c^1 = c : e : a \quad (\overbrace{\underbrace{12 : 15}_{\text{Gr. Terz}} : \underbrace{20}_{\text{Quarte}}}^{\text{Gr. Sext}})$$

$$5)\; g : c^1 : e^1 = c : f : a \quad (\overbrace{\underbrace{6 : 8}_{\text{Quarte}} : \underbrace{10}_{\text{Gr. Terz}}}^{\text{Gr. Sext}})$$

$$6)\; g : c^1 : es^1 = c : f : as \quad (\overbrace{\underbrace{15 : 20}_{\text{Quarte}} : \underbrace{24}_{\text{Kl. Terz}}}^{\text{Kl. Sext}})$$

3 und 5 sind Umlagerungen des Dur-, 4 und 6 solche des Mollakkords. In jedem dieser Akkorde ist nur eine große oder kleine Terz enthalten, die andere ist durch eine Quarte, die Quinte durch eine große oder kleine Sext ersetzt. Infolgedessen ändern sich die Grade der direkten und indirekten Klangverwandtschaft. Nur der Akkord 5 hat einen Grundton (= 2), der zugleich gemeinsamer Differenzton erster Ordnung für die beiden Intervalle $g:c^1$ und $c^1:e^1$ ist: er ist die tiefere Duodezime des ersten Tones, also bei der Lage $g:c^1:e^1$ der Ton B, der, wie im Stammakkord, 2 Oktaven unter dem direkt angegebenen c^1 liegt; außerdem klingt c (= 4) als weiterer Klangbestandteil mit. Der Akkord 3 hat die einzelnen Untertöne $C_1 = 1$, $C = 2$ und $G = 3$, welche sämtlich wieder harmonische Bestandteile des Akkords sind, ohne daß jedoch, wie im vorigen Fall, zwei derselben koinzidieren. Zum Akkord 4 gehören $Es_1 = 3$, $C = 5$ und $B = 8$, von denen nur die beiden ersten zugleich harmonische Grundtöne sind. Zum Akkord 6 gehören endlich $C = 5$, $As_1 = 4$ und $B = 9$, von denen nur C zum ursprünglichen Klang harmonisch ist, während As_1 und B fremdartige Bestandteile sind.

Demnach entsprechen den Durakkorden 3 und 5 lauter Untertöne, in denen sich Teile des Akkords in tieferer Lage wiederholen; unter ihnen steht aber der Dreiklang $g:c^1:e^1$ dem Stammakkord am nächsten, weil auch er bloß tiefere C's zu Differenztönen hat, darunter eines, das koinzidierender Differenzton und zugleich Grundton der ganzen Klangmasse ist. Bei den Mollakkorden stimmt nur ein Teil der Grundklänge mit den ursprünglichen Akkordbestandteilen überein. Anders verhält es sich mit den höheren Partialtönen der einzelnen Klänge. Hier liegen wieder die übereinstimmenden Obertöne bei den aus dem Stammakkord der Molltonart hervorgegangenen Dreiklängen 4 und 6 den Grundtönen des Akkords viel näher als bei den Durakkorden 3 und 5, bei denen sie im allgemeinen außer den Bereich der deutlichen Wahrnehmbarkeit fallen. Bei den Akkorden 3 und 5 koinzidiert nämlich erst ein Oberton von der Schwingungszahl 120, d. h. bei 3 der 15., bei 5 der 12. Partialton des höchsten Klangs. Der Akkord 4 hat dagegen einen übereinstimmenden Oberton von der Schwingungszahl 60, welcher der 3te Partialton, der Akkord 6 einen solchen von der Schwingungszahl 120, welcher der 5te Partialton des höchsten der drei Klänge ist. Auch ist dieser gemeinsame Oberton nur bei den Mollakkorden die Wiederholung eines ursprünglichen Klangbestandteiles in höherer Lage: beim Akkord $es:g:c^1$ der Ton g^2, wie im Stammakkord, bei $g:c^1:es^1$ dessen höhere Oktave g^3. Demnach steht der Akkord 4 dem Moll-Stammakkord am nächsten, ähnlich wie 5 dem Dur-Stammakkord.

Fassen wir an dem Beispiel des *C*-Dur- und des *C*-Mollakkords schließlich die sämtlichen Bedingungen der direkten und indirekten Klangverwandtschaft zusammen, so ergibt sich der folgende verwickelte Aufbau der Tonelemente in diesen Zusammenklängen, wobei hier überdies noch von den primären Differenztönen höherer Ordnung sowie von den sekundären (der Obertöne) abstrahiert worden ist.

C-Dur:

$\underline{C_1}$	C_2	c	e	g	c^1	e^1	$\underline{g^1}$	h^1	$\underline{c^2}$	d^2	$\underline{e^2}$	$\underline{g^2}$ …	$\underline{h^2}$ …	$\underline{\underline{h^3}}$
1	2	4	5	6	8	10	12	15	16	18	20	24	30	60
		1	1											

C-Moll:

$\underline{As_3}$	As_2	Es_1	C	c	es	g	c^1	es^1	$\underline{g^1}$	b^1	c^2	d^2	es^2	$\underline{\underline{g^2}}$
1	2	3	5	10	12	15	20	24	30	36	40	45	48	60
				2	3									

Hiernach sind, wenn wir neben den in diesem Schema angegebenen phonischen auch noch die metrischen Verhältnisse in der Teilung der Tonstrecken beachten, die sich, wie wir früher (S. 84 f.) sahen, nicht minder in der unmittelbaren Empfindung geltend machen, die wesentlichen Unterschiede die folgenden: 1) Der Dur-Akkord baut sich auf Grundklängen auf, die tiefere Oktaven seines tiefsten Tones sind; der Grundklang des Mollakkords liegt außerhalb seiner eigenen Tonbestandteile, daneben kommt aber in ihm ein mit dem Grundton übereinstimmender Unterton zur Geltung, daher sich die Molltonart auf zwei wechselnden Grundklängen aufbaut; 2) der Mollakkord

hat einen übereinstimmenden Oberton, der eine Oktavwiederholung seines höchsten Tones ist; der übereinstimmende Oberton des Durakkords stimmt mit keinem seiner eigenen Töne überein, liegt aber zumeist überhaupt jenseits des Gebiets hörbarer Obertöne; 3) der Durdreiklang wird durch die Terz symmetrisch in zwei gleiche Empfindungsstrecken geteilt, bei dem Molldreiklang ist die tiefere Tonstrecke in der Empfindung kleiner, die höhere größer. Dieses letztere Moment gibt zusammen mit dem vorigen im Mollakkord dem Quintenton ein Übergewicht, während im Dur noch bestimmter der Grundton durch die Übereinstimmung mit dem Grundklang gehoben wird. Doch fehlt auch dem Mollakkord ein seinen Tönen gemeinsamer Grundklang nicht. Er ist nicht nur in dem Zusammenklang als Differenzton zu hören (die beiden Töne As_3 und As_2 sind namentlich bei hoher Akkordlage vernehmbar), sondern er macht sich auch in der Tonfolge geltend, wo die Neigung besteht, an Stelle des Tones *a* das mit dem Grundklang übereinstimmende *as* zu verwenden. Dies ist vorzugsweise bei der absteigenden Tonfolge zu bemerken, in der sich die Töne in der Richtung nach dem Grundklang bewegen. Die *C*-Moll-Tonleiter lautet dann:

aufsteigend:		absteigend:
c d es f g a h c^1	|	c^1 *h as g f es d c*

Zuweilen zieht der Übergang in *as* auch noch die Umwandlung von *h* in *b* zur Ausgleichung der Intervalle nach sich. Jene Bedeutung des *as* tritt aber noch mehr hervor, wenn man unmittelbar auf das *c* der absteigenden Reihe die für den Grundklang charakteristischen Töne *C Es* As_1 folgen läßt. Bei der Durtonart ist ein solcher Abschluß in einem von der Tonika verschiedenen Klang unmöglich. Das Mollsystem enthält eben zwei verschiedene Grundklänge, einen, auf den die drei Töne des Akkords zurückweisen, und der, dem Moll spezifisch eigen, von den Tönen des Dreiklangs abweicht (*As*), und einen zweiten, der nur dem Quintintervall angehört und mit dem Grundklang des Durakkords übereinstimmt (*C*). Beide sind beim Zusammenklang als Differenztöne vorhanden. Hierin liegt der Grund, weshalb im Moll ein doppelter Abschluß des Tonstückes möglich ist, einer im Mollakkord, den erst das neuere Harmoniegefühl zur Geltung gebracht hat, und einer im Durakkord, den die ältere Anschauung für den allein zulässigen hielt. Die dem Molldreiklang oft zugeschriebene »Zwiespältigkeit der Stimmung« hat wohl in dieser Zweiheit des Grundklangs ihren psychologischen Grund, wozu dann noch die hohe Lage des herrschenden Tonelementes hinzukommt, die einen ausgeprägten Gegensatz bildet zu dem natürlichen Übergewicht, das in allen Zusammenklängen der tiefste Tonbestandteil ausübt. Dieses Übergewicht des tiefsten Tones kann psychologisch auf zwei Momente zurückgeführt werden: ein direktes und ein assoziatives. Direkt sind die tiefen Töne durch die ihnen eigenen Gefühlselemente der Beruhigung und der Lösung ausgezeichnet (vgl. oben S. 330), während die hohen mehr erregend und spannend wirken, daher, wie A. von Oettingen mit Recht bemerkt hat, nach dieser Gefühlswirkung mit größerem Rechte das Moll die harte, und das Dur die weiche Tonart genannt werden könnte. Assoziativ bilden ferner die tiefen Grundtöne diejenigen Bestandteile der Akkorde, die jene Empfindung der Klangeinheit vermitteln, durch die der Zusammenklang zu einer mit größe-

rer Klangfülle verbundenen Wiederholung eines Einzelklangs wird. Auf diesen Bedingungen beruht darum vor allem auch die Bedeutung des Grundtons der musikalischen Hauptakkorde, der *Tonika*, als desjenigen Tons, von dem die Melodieführung ausgeht, und zu dem sie zurückkehrt. Bei der Frage, welchen Bedingungen die Quinte dieses Tonikagrundtons ihre Bedeutung als sogenannte *Dominante* der Tonart verdankt, läßt sich dagegen sowohl an ein metrisches wie an ein phonisches Prinzip denken. Nach dem ersteren ist die Quinte die reine Halbierung der Oktave; insofern aber die Oktave eine höhere Wiederholung des Grundtons ist, bezeichnet die Quinte diejenige Stelle der Tonleiter, wo sich die Empfindung am weitesten von dem Tonikaklang entfernt hat. In diesem Sinne wird man nicht bestreiten können, daß HAUPTMANNS Auffassung, der in ihr den reinen Gegensatz zur Tonika erblickte, abgesehen von der dialektischen Formulierung und der damit zusammenhängenden falschen Anwendung der Worte Gegensatz und Entzweiung, auf einer richtigen psychologischen Beobachtung beruht[1]. Als ein sekundäres Moment kommt hinzu, daß die Quinte den Dreiklang symmetrisch teilt, mag sie End- oder Anfangspunkt des Akkordes sein, also sowohl in dessen ursprünglicher Lage $\overset{4}{c} \underset{1}{:} \overset{5}{e} \underset{1}{:} \overset{6}{g}$ wie in der Umlagerung $\overset{6}{g} \underset{2}{:} \overset{8}{c^1} \underset{2}{:} \overset{10}{e^1}$. In *phonischer* Beziehung dagegen ist die Quinte der innerhalb der Oktave *verwandteste* Ton, so daß sie als die nächste Ergänzung des Grundtons neben der Oktave empfunden wird. Metrische und phonische Beziehungen verhalten sich also hier entgegengesetzt. Dies kommt auch darin zum Ausdruck, daß die beiden oben angegebenen metrisch gleichen Akkorde, der Tonikadreiklang *c e g* und der Quartsextakkord $g\, c^1\, e^1$, in phonischer Hinsicht äußerst verschieden sind, indem bei dem letzteren die übereinstimmenden Partialtöne höher liegen und bei den Nebenintervallen der Obertöne die Dissonanzen überwiegen. Darum eignet sich der erste dieser metrisch gleich gebauten Akkorde am besten, der zweite am schlechtesten zum tonischen Abschluß. In vollem Gegensatz zur Dominante steht in beiden Beziehungen der nur um einen halben Ton von der Oktave des Grundtons verschiedene sogenannte *Leitton*. Metrisch ist er, insofern die Oktave als Wiederholung des Grundtons aufgefaßt wird, der dem Grundton nächste Ton und kommt daher auch in seiner Funktion als Leitton, d. h. zur unmittelbaren Vorbereitung der Rückführung in die Tonika, vorzugsweise in seiner Rückversetzung in die unmittelbare Nähe der Tonika zur Anwendung. *Phonisch* ist er aber der innerhalb der Oktave unverwandteste Ton, da die große Septime das dissonanteste aller Intervalle ist. Es ist einleuchtend, daß hier gerade die Verbindung metrischer Nähe und phonischen Gegensatzes dem Leitton seine eigentümliche Bedeutung verliehen hat. Ein weiteres Eingehen auf die hier sich anschließenden Fragen muß jedoch der psychologischen Ästhetik überlassen bleiben.

---

[1] M. HAUPTMANN, Die Natur der Harmonik und Metrik. 1853, S. 25.

4. Theorie der intensiven Gehörsvorstellungen.

a. Tonabsorption und Tonverschmelzung als Faktoren der Schallvorstellungen.

Tonabsorption und Tonverschmelzung haben wir als die wesentlichen Bedingungen kennen gelernt, die bei der gleichzeitigen Einwirkung einer Summe von Tönen die entstehende Empfindung in der mannigfaltigsten Weise modifizieren können und ihr unter allen Umständen einen wesentlich andern Charakter verleihen, als ihn eine bloße Addition der einzelnen Töne oder die einfache Umwandlung des sukzessiv Gehörten in einen simultanen Eindruck besitzen würde (S. 116 ff.). Von diesen beiden Faktoren muß der eine, die Tonabsorption, aller Wahrscheinlichkeit nach als ein rein physiologischer, der andere, die Tonverschmelzung, dagegen als ein spezifisch psychologischer oder, insofern ihm gleichzeitig physiologische Bedingungen zugrunde liegen, jedenfalls als ein zentraler betrachtet werden. Beide sind aber naturgemäß auf die Konstitution der Schallvorstellungen von entscheidendem Einfluß. In der Tat lassen sich die beiden Hauptformen derselben, Geräusch und Klang, geradezu in dem Sinne einander gegenüberstellen, daß wir einen Schalleindruck im allgemeinen so lange ein Geräusch nennen, als in ihm der Vorgang der Tonabsorption vorwaltet, und der der Tonverschmelzung zurücktritt, während wir ihm um so mehr den Charakter des Klangs zuschreiben, je weniger sich die Tonabsorption im Verhältnis zur Tonverschmelzung geltend macht. Auf diese Weise bilden auch nach diesen ihren Entstehungsbedingungen Geräusche und Klänge eine stetige Folge von Erscheinungen, an deren einem Ende das reine Geräusch als eine Form steht, in der alle Tonelemente durch wechselseitige Absorption verschwunden sind, wogegen das andere Extrem durch die reinen, von jeder Tonabsorption freien, aber in hohem Grade dem Prozeß der psychischen Verschmelzung unterworfenen musikalischen Klänge gebildet wird. Das entscheidende Kriterium für die Tonabsorption bildet hierbei das Verschwinden einer bestimmten Höhenempfindung der Töne; das Kriterium der Tonverschmelzung dagegen besteht in der Analysierbarkeit des Klangs in Einzeltöne und in der Unterordnung der sämtlichen Elemente einer solchen Tonverbindung unter einen einzigen, den herrschenden Ton.

Unter dem Gesichtspunkt dieses doppelten Einflusses gliedern sich nun vor allem die Geräusche in jene Reihe mannigfacher Schallvorstellungen, wie sie uns oben (S. 394 ff.) an den Geräuschbildungen der menschlichen Sprachorgane in einer Anzahl typischer Formen entgegen-

getreten sind. Abgesehen von jenen möglicherweise auf alle Teile des Resonanzapparates einwirkenden momentanen Impulsen, bei denen eine Tonerregung überhaupt noch nicht entsteht, bilden sich bei der großen Mehrzahl der Geräusche mannigfach übereinander greifende Toninterferenzen, bei denen die einzelnen Oszillationen in einer einzigen Gesamtbewegung aufgehen, die zwar, insofern sie auf einen gewissen Teil des Resonanzapparates beschränkt ist, noch eine allgemeine Tonlage besitzt, aber keine einzige distinkte Tonhöhe mehr erkennen läßt. Man kann daher in diesem Falle von einer diffusen Tonverschmelzung in dem Sinne reden, als die Töne sich noch in jener allgemeinen Tonlage geltend machen. Zugleich sind jedoch durch die stattfindende Tonabsorption die einzelnen Tonbewegungen derart in der resultierenden Bewegung aufgegangen, daß die charakteristischen Eigenschaften der Tonverschmelzung, die Analysierbarkeit in Einzeltöne und die Aussonderung eines herrschenden Tones, hier vollständig verschwinden. Daraus erklärt es sich zugleich, daß diese reinen Geräusche trotz der äußerst zusammengesetzten Beschaffenheit der objektiven Schwingungen, subjektiv den Charakter einfacher Empfindungen besitzen. Als solche sind sie nun aber auch keine eigentlichen Verschmelzungen mehr, sondern Absorptionsphänomene.

Dies ändert sich schon wesentlich bei denjenigen Geräuschen, die einzelne Töne entweder unmittelbar oder bei subjektiver Analyse des Schalls als mehr oder minder deutliche Bestandteile erkennen lassen. Auch bei ihnen wirkt zwar die Tonabsorption immer noch mit, indem sie spezifische Geräuschelemente der Verbindung bildet. Diese verschmelzen nun aber mit Klängen, die ihrerseits aus abgestuften Verschmelzungsreihen bestehen. Infolgedessen sondert sich im allgemeinen ein einzelner Ton, in der Regel der durch Intensität ausgezeichnete, als das herrschende Element aus, nach dem wir dann auch dem ganzen Geräusch eine bestimmtere Tonhöhe zuteilen. Doch ist durchweg, so lange der Schall den Charakter des Geräusches bewahrt, dieser herrschende Ton von viel geringerer Wirkung, wie er denn auch schon objektiv oft von relativ geringer Intensität oder durch gleichzeitig stattfindende Tonabsorption so geschwächt ist, daß neben ihm und mit ihm, sich bis zu einem gewissen Grade in die Herrschaft teilend, entweder die reinen Geräuschelemente, wie z.B. bei den rollenden, rasselnden und ähnlichen Geräuschen, hervortreten, oder einzelne Nebentöne die Deutlichkeit des dominierenden Tones beeinträchtigen: letzteres z. B. bei den Vokalen der menschlichen Sprechstimme, wo die den Vokalcharakter bildenden Formanten so stark wirken, daß wir über die absolute Tonhöhe der Sprechstimme, obgleich sie in jedem Augenblick eine fest bestimmte ist, doch zumeist ziemlich unsicher sind.

Anderseits sind aber die Formanten selbst an sich zwar distinkte Tonbestandteile, jedoch so fest miteinander und mit dem Ganzen des Schalls verschmolzen, daß sie der subjektiven Analyse nur schwer zugänglich sind. Außerdem wirkt ihre konstante Höhenlage sehr wesentlich auf die Innigkeit dieser Verschmelzungen ein. Denn nach einem überall wiederkehrenden assoziativen Prinzip verbinden sich irgendwelche Elemente zu um so unlösbareren Einheiten, je konstanter diese Elemente sind. Wie die »konstante Klangverwandtschaft« der hauptsächlichste Faktor bei der unterscheidenden Charakterisierung der Geräusche ist, so unterstützt sie also bei den aus Klang- und eigentlichen Geräuschelementen bestehenden Eindrücken die allen diesen zusammengesetzten Geräuschen eigne feste Verschmelzung zu einheitlichen und darum oft immer noch scheinbar einfachen Schallqualitäten. Nach allem dem können wir die Geräusche als diffuse Verschmelzungen von Klangbestandteilen und von eigentlichen Geräuschelementen definieren, wobei die letzteren zumeist selbst wieder durch den Vorgang der Tonabsorption aus Tonerregungen hervorgegangen sind und daher bereits eine gewisse allgemeine Tonlage erkennen lassen.

Zwei Merkmale sind es nun, die, gegenüber diesen Eigenschaften der Geräusche, die reinen Klangvorstellungen auszeichnen: erstens tritt bei ihnen das Moment der Tonabsorption vollständig zurück, — wo es sich noch geltend macht, da handelt es sich eben immer in gewissem Maße um Zwischenformen von Klang und Geräusch, — und zweitens sind die Klänge selbst durchaus Verbindungen distinkter Töne, die sämtlich miteinander und namentlich mit dem herrschenden Ton des Klangs oder der Klangmasse veränderlich sind. Wie beim Geräusch die konstante Klangverwandtschaft die Verbindung zu unlösbaren Einheiten begünstigt, so bewirkt darum hier die variable Klangverwandtschaft zusammen mit der distinkten Beschaffenheit der Tonelemente die relativ leichte Analysierbarkeit des Ganzen. Anderseits freilich wirkt dieser wiederum das entschiedene Hervortreten eines herrschenden Elementes entgegen, das mit der nämlichen distinkten Beschaffenheit der Tonelemente zusammenhängt. Auf diese Weise lassen sich die Klang- gegenüber den Geräuschvorstellungen allgemein als distinkte Tonverschmelzungen bezeichnen, in denen ein herrschender Ton dem Ganzen seinen Grundcharakter verleiht, während die übrigen Töne bloße modifizierende Bestandteile bilden, die je nach den besonderen Bedingungen der Klangbildung bald mehr bald weniger hinter dem herrschenden Ton zurücktreten, immer aber Bestandteile bleiben, die entweder unmittelbar oder nach vorbereitender Einübung in ihrer Tonhöhe aufgefaßt werden können. Wo sie absolut unerkennbar werden, da verschwindet auch ihr Einfluß

auf die Tonmasse. »Unbewußte« Elemente, die sich als solche an der Klangqualität beteiligen könnten, gibt es also nicht.

Bei diesen distinkten Tonverschmelzungen unserer Klangvorstellungen bieten sich ferner stets zugleich charakteristische Unterschiede der Verschmelzungsgrade dar, die zwar auch bei andern Formen psychischer Verschmelzung, jedoch nirgends so augenfällig und zugleich in so deutlichen Abstufungen uns entgegentreten, wie gerade bei den Verschmelzungsprodukten der musikalischen Klänge. Wir bezeichnen diese Unterschiede allgemein als die der vollkommenen und der unvollkommenen Verschmelzung. Diese Ausdrücke deuten schon an, daß es sich auch hier um keine Gegensätze, sondern überall nur um fließende Übergänge handelt. Ein absolut Vollkommenes gibt es auch hier nicht. Selbst die vollkommenste Tonverschmelzung zeigt jene Analysierbarkeit in einzelne Tonelemente. Eine absolut vollkommene Verschmelzung würde daher das reine, von allen distinkten Tonelementen freie Geräusch genannt werden können, wenn auf dasselbe der Begriff der Verschmelzung im psychologischen Sinne überhaupt anwendbar wäre, und dieser nicht vielmehr hier dem wesentlich physiologisch fundierten der Tonabsorption Platz machte (S. 430). Ebenso gibt es aber natürlich keine absolut unvollkommene Verschmelzung. Denn eine solche würde ja den Grenzfall bezeichnen, wo zusammenklingende Töne ebensowenig modifizierend aufeinander einwirkten wie sukzessive. Diesen Grenzfall gibt es wiederum nicht. Simultane Tonverbindungen sind immer zugleich Tonverschmelzungen irgendwelchen Grades, ebenso wie umgekehrt auf sukzessive Töne der Begriff der Tonverschmelzung selbstverständlich nicht angewandt werden kann.

Unter Berücksichtigung dieser in dem Wort schon ausgesprochenen relativen und fließenden Bedeutung der Bezeichnungen ist nun der Einzelklang der typische Repräsentant der vollkommenen, der Zusammenklang der der unvollkommenen Verschmelzungen. In dem Einzelklang ist der Grund- oder Hauptton der unbedingt herrschende, die Obertöne lassen sich zwar durch Klanganalyse unmittelbar als Töne erkennen. Dadurch charakterisiert sich die Verschmelzung eben als ein psychischer Vorgang. Aber in dem unmittelbaren Eindruck verlieren die Obertöne ihren selbständigen Toncharakter: sie werden zu bloß anhängenden, oder, wie wir es bei der Anwendung des Wortes »Klangfarbe« bildlich ausdrücken, zu »färbenden« Elementen des Haupttons. Wir haben allen Grund anzunehmen, daß dieser Unterschied direkt nur durch die verschiedene Bewußtseinslage der im Klang enthaltenen Tonbestandteile bedingt ist: der herrschende Ton steht im Blickpunkt der Aufmerksamkeit, die Obertöne sind dunklere Bewußtseinsinhalte. Ihre Verdunkelung ist aber ein Produkt zweier Ursachen: erstens ihrer meist geringen objektiven

Intensität, und zweitens der festen Assoziationen, welche Tonreihen von der den Elementen eines Einzelklangs entsprechenden Form durch fortwährende Wiederholung miteinander bilden. Sind diese Assoziationen auch wegen der Variabilität der Tonelemente verhältnismäßig lösbarer als bei der konstanten Klangverwandtschaft der Geräusche, so ist doch ihre relative Festigkeit bei der Bewegung von Klängen gleicher Klangfarbe immer noch groß genug, um einer Tonverbindung dieser Art selbst dann noch den Charakter der Klangeinheit zu verleihen, wenn ausnahmsweise die objektive Intensität der Obertöne der des Grundtons gleich wird. (Vgl. oben S. 118f., auch 417.) Die so entstehenden Klänge bilden dann aber zugleich Übergangsbildungen zwischen Einzelklang und Zusammenklang, und damit zwischen vollkommener und unvollkommener Tonverschmelzung.

Die Zusammenklänge, wie sie mannigfaltiger sind als die Einzelklänge, bieten nun auch vielgestaltigere Beispiele von Graden der Tonverschmelzung. Dabei bleibt jedoch diese in dem Sinne eine unvollkommene, als stets eine Mehrheit von Tönen unmittelbar wahrgenommen wird, abgesehen von den Fällen mangelnder oder durch die kurze Einwirkungsdauer beschränkter Aufmerksamkeit. Mit dieser Mannigfaltigkeit der Zusammenklänge hängt es zugleich zusammen, daß sie Beispiele der allerverschiedensten Grade unvollkommener Verschmelzung darbieten, von der deutlichen Sonderung aller Haupttöne an bis zu dem Grenzfall, wo das Ganze im wesentlichen einem Einzelklang mit stark ausgeprägten Obertönen gleichkommt, oder anderseits von der in allen ihren Teilen distinkten Tonverschmelzung bis zu jenen mehr oder minder diffusen Tonverschmelzungen, die den Übergang in das Geräusch bezeichnen. Hier steht dann zugleich die Art der Tonverschmelzung in nächster Beziehung zu jener Eigenschaft, die wir die Konsonanz der Klänge nennen. In der Tat ist die distinkte, von diffusen Geräuschelementen freie Verschmelzung der Einzelklänge eines Zusammenklangs, wie wir unten sehen werden, eines der wesentlichen Momente der sogenannten Konsonanz, und eben deshalb bieten auch hinwiederum die konsonanten Zusammenklänge Beispiele reiner, d. h. von Geräuschelementen freier Formen unvollkommener Tonverschmelzung. Selbstverständlich darf aber dieser Zusammenhang nicht dazu verführen, Tonverschmelzung und Konsonanz einander gleichzusetzen, oder die Konsonanz aus der Tonverschmelzung ableiten zu wollen. Vielmehr ist umgekehrt die Konsonanz der Klänge die Bedingung für die Erzeugung reiner Tonverschmelzungen. Vollends würde schon der Umstand, daß die Konsonanz im eigentlichen Sinne des Worts an den Zusammenklang, also an Formen unvollkommener Verschmelzung gebunden ist, abgesehen von allen den positiven Tatsachen,

die für den Begriff der Konsonanz nach andern Richtungen hinweisen, es verbieten, etwa nach der Vollkommenheit der Verschmelzung den Grad der Konsonanz bemessen zu wollen.

Als unvollkommene Verschmelzungen unterscheiden sich nun die Zusammenklänge von den vollkommenen Verschmelzungen der Einzelklänge durch zwei eng verbundene Merkmale: erstens durch das deutliche und unmittelbare Hervortreten einer Vielheit von Tönen, und zweitens durch die relativ geringe Vorherrschaft eines dominierenden Tones. Gleichwohl existiert ein solcher stets, auch in noch so kompliziert gebauten Zusammenklängen. Da alle verwickelteren Zusammenklänge aber ihrerseits auf den Dreiklängen sich aufbauen, so sind es die herrschenden Elemente der konsonanten Dreiklänge, die in der musikalischen Verwendung der Akkorde eine entscheidende Rolle spielen. Darum ist es bezeichnend, daß das bei den verschiedensten Formen seelischer Gebilde für alle Verschmelzungsprodukte geltende Prinzip des herrschenden Elementes, lange bevor es von der experimentellen Psychologie aufgestellt war, bei der Auffassung der musikalischen Zusammenklänge entdeckt wurde. So ist der Ton *c* der anerkannte Hauptton des Akkords *c e g*: wir hören ihn unmittelbar als den den ganzen Akkord beherrschenden. Umgekehrt ist, wie namentlich A. VON OETTINGEN auf Grund der Akkordumwandlungen und der Tonbewegung der Melodie gezeigt hat, in dem Akkord *c es g* der höchste der drei Töne, *g*, der herrschende. Auch er wird wieder unmittelbar als solcher aus dem Dreiklang herausgehört. Unterstützt wird diese Aussonderung der herrschenden Töne hier wesentlich durch die oben erörterten Elemente der direkten und der indirekten Klangverwandtschaft. In dem Akkord *c e g* wird *c* durch den tiefen Grundklang C_1 gehoben, auf dem sich der Zusammenklang aufbaut. Der Akkord *c es g* findet in dem gemeinsamen Oberton g^2 seinen Abschluß. Das erste dieser Momente wirkt auch bei reinen, obertonfreien Klängen, das letztere versagt in diesem Falle. Dafür treten dann aber beidemal jene Motive der melodischen Tonbewegung, die im ersten Fall von unten nach oben, im zweiten von oben nach unten führen, für den Ausgangston als den dominierenden ein. Indem sich so je nach den besonderen Formen der Klangerzeugung die Bedingungen für den herrschenden Ton einigermaßen verschieden gestalten, dabei aber immer wieder auf Motive zurückführen, die mit den Verhältnissen der Konsonanz zusammenhängen, bewährt es sich auch hier, daß Verschmelzung und Konsonanz sich kreuzende Begriffe sind, wobei in diesem Fall die aus andern Ursachen entsprungenen Eigenschaften der Konsonanz die besondere Form der Verschmelzung beeinflußt haben, nicht umgekehrt. Die Frage nach der Natur dieser Einflüsse führt demnach unmittelbar zu der weiteren Frage nach dem

Wesen der Konsonanz selbst. Diese letztere ist aber, abgesehen von ihrer Bedeutung für das speziellere Gebiet der Psychologie der Musik, ihrem allgemeineren Inhalte nach schon deshalb eine psychologische Frage, weil Konsonanz und Dissonanz, als Beispiele eigenartiger, mächtige Gefühlsmotive in sich tragender Vorstellungsverbindungen, auch abgesehen von allen Beziehungen zur Musik, ein hohes psychologisches Interesse darbieten.

b. Assimilative Wechselwirkungen der Schallvorstellungen.

Mit dem Wort »Assimilation« bezeichnen wir die in allen Sinnesgebieten wiederkehrende Tatsache, daß eine Vorstellung auf eine andere ihr gleichzeitige oder nachfolgende unter günstigen Bedingungen verähnlichend einwirkt. Der nähere Zusammenhang dieser Tatsache mit den sonstigen Bewußtseinserscheinungen wird uns erst bei der allgemeinen Betrachtung des Verlaufs und der Verbindungen der psychischen Vorgänge beschäftigen können[1]. Dagegen bilden die einzelnen assimilativen Vorgänge so wichtige, tief in die Konstitution der Sinnesvorstellungen eingreifende Faktoren, daß sie in dieser speziellen Bedeutung ebensowenig wie die in ihrer allgemeinen psychologischen Bedeutung gleichfalls erst später zu erörternden Verschmelzungsprozesse bei der Betrachtung der einzelnen Formen der Sinnesvorstellungen übergangen werden können. Beide Prozesse, die Verschmelzung und die Assimilation, können aber vorläufig dadurch von einander geschieden werden, daß wir von einer »Verschmelzung« da reden, wo die Elemente, die in eine Vorstellung eingehen, konstitutive Bestandteile dieser resultierenden Vorstellung bilden, während wir eine »Assimilation« da annehmen, wo eine für sich bereits fixierte Vorstellung auf eine andere modifizierend herüberwirkt, oder wo zwei ursprünglich unabhängig voneinander bestehende Vorstellungen verändernd einander beeinflussen. In diesem Sinne nennen wir z. B. die Verbindung des Grundtons mit den Obertönen, die eine konkrete Klangvorstellung bilden, eine Verschmelzung. Wenn aber bei der den Musikern bekannten Erscheinung der Oktavenversetzung ein bestimmter Ton nach seiner absoluten Tonhöhe um eine Oktave zu tief geschätzt wird, so bezeichnen wir das als eine Assimilation: der uns aus früheren musikalischen Erfahrungen geläufige tiefere Ton, mit dem der höhere als sein erster Oberton verbunden zu sein pflegt, hat sich den höheren assimiliert. Zugleich zeigt dieses Beispiel, wie eventuell Verschmelzung und Assimilation ineinander eingreifen können. Denn die geläufige Verschmelzung des

---

[1] Vgl. Abschn. V, Kap. XIX.

Grundtons mit seinem ersten Oberton bildet hier offenbar ein wesentliches Hilfsmoment der Assimilation der aufeinander folgenden Töne.

In zwei Punkten unterscheiden sich nun die Assimilationsprozesse in dem oben definierten allgemeinen Sinne von den Verschmelzungen. Erstens können sie ebenso als eine direkte Wirkung zweier gleichzeitig gegebener Vorstellungen aufeinander wie in der Form einer reproduktiven Wirkung einer vorangegangenen auf eine direkt gegebene Vorstellung vorkommen, letzteres namentlich dann, wenn der reproduktive Vorgang häufig sich wiederholt hat. Zweitens pflegt sich der Assimilationsvorgang derart abzustufen, daß er bis zu einem besimmten Grenzwert des Unterschieds beider Empfindungen immer mehr abnimmt, um dann mehr oder weniger plötzlich in eine Dissimilation überzuspringen, derart, daß die direkt oder reproduktiv in Wechselwirkung tretenden Vorstellungen im Sinne des Gegensatzes zu der andern verändert wird. Fassen wir auch den letzteren Fall, da er als der im ganzen seltenere Grenzfall sich darstellt, unter den Generaltitel der Assimilation, so läßt sich demnach diese in die eigentliche Assimilation und die Dissimilation oder genauer in die beiden Prozesse der Angleichung und des Kontrastes sondern, von denen dann jeder in eine direkte und eine reproduktive Form sich scheiden kann. So ist es eine Angleichung, wenn ein konstant angehaltener Ton *A*, mit dem man einen höheren, z. B. *e*, abwechselnd verbindet und wieder verschwinden läßt, regelmäßig bei dem Hinzutritt des höheren Tons sich diesem zu nähern und bei seinem Verschwinden von ihm wieder zu entfernen scheint, wobei also der höhere Ton sich den tieferen assimiliert. Eine ähnliche simultane Assimilation wirkt wahrscheinlich mit, wenn man beide Töne einander sehr nahe wählt und hinreichend kurz einwirken läßt, daß Schwebungen nicht zu bemerken sind, und wo nun die beiden Töne wie ein einziger erscheinen. Doch kann dabei auch das oben beschriebene physiologische Phänomen der Tonabsorption mitwirken, so daß der diffuse Charakter eines solchen Tons ein gleichzeitiges Produkt von Assimilation und Absorption ist. Beide Phänomene zusammen gestatten es daher auch nicht, eine simultane »Unterschiedsschwelle« zweier Töne im selben Sinne zu bestimmen, in welchem man nach den früher angegebenen Methoden (S. 89 f.) die sukzessive ermittelt. Wo man eine solche festzustellen versucht hat, da handelt es sich in Wahrheit um Mischphänomene aus Ton, Absorption und Assimilation, in die überdies noch Schwebungen des Zusammenklangs störend eingreifen können. Über eine größere Tonstrecke kann sich ferner eine solche simultane Assimilation erstrecken, indem der früher geschilderte, bei zureichender Entfernung der Töne aus der Tonabsorption hervorgehende »Zwischenton« jeden der beiden primären Töne assimilieren kann (S. 102).

Über ein noch weiteres Tongebiet reicht aber nicht selten die sukzessive Assimilation in der Form der Angleichung an geläufige Tonintervalle. Eine Erscheinung, die hierher gehört, besteht in der Angleichung verstimmter an richtige Intervalle, die sich bei melodischen Tonfolgen über erheblich weitere Grenzen erstreckt als bei Zusammenklängen. Zugleich wirkt jedoch hierbei die Assimilation meist in einer Richtung, insofern das oft zuvor gehörte richtige Intervall auf ein einzelnes angleichend herüberwirkt. Auch die früher (S. 84) erwähnte Erscheinung gehört hierher, daß zwar jede, selbst eine ganz außerhalb unseres Harmoniesystems liegende Tonstrecke nach dem unmittelbaren Eindruck der sukzessiv einwirkenden Tonhöhen leicht halbiert werden kann, daß aber die Teilung eine viel präzisere ist, wenn sie mit einem harmonischen Intervall zusammenfällt. Denn offenbar handelt es sich hier um ein Mischphänomen aus Einteilung der Tonstrecke und Assimilation durch das oft gehörte Intervall.

In den Grenzfall des Kontrastes gehen nun die Assimilationsvorgänge besonders bei sukzessiven Eindrücken oder aber bei Mischungen aus Sukzession und Zusammenklang über, wenn die gewöhnliche Assimilationsbreite erheblich überschritten wird, und wenn neben einem variabeln Ton ein konstant bleibender Ton oder Tonkomplex einwirkt. Läßt man z. B. den Zweiklang der Quart *cf* in die Quinte *cg* übergehen, so scheint sich der Ton *c* zu vertiefen. Läßt man umgekehrt *cg* in *cf* übergehen, so scheint sich *c* zu erhöhen: im ersten Fall erzeugt also die Distanzvergrößerung eine relative Dissimilation, im zweiten die Distanzverkleinerung eine Assimilation. Ähnliche, aber kleinere Verschiebungen ergeben sich bei der reinen Sukzession, wenn man den variabeln Ton vorangehen, den konstant erhaltenen nachfolgen läßt: so erscheint bei der Folge *fc* das *c* höher als bei der Folge *gc*, wo es durch größere Tondistanz von *g* vertieft erscheint. Daß übrigens dieser Kontrast im ganzen bei den Zweiklängen *cf* und *cg* größer erscheint als bei der erwähnten Tonfolge, beruht wohl auf der vertiefenden Wirkung des Differenztones 1 bei dem Intervall der Quinte 2 : 3, da in diesem Fall, nach dem Prinzip der Oktavenversetzung, der tiefere Ton *c* von dem um eine Oktave tieferen Differenzton *C* assimiliert wird, während bei der Quarte 3 : 4 der Differenzton 1 die tiefere Doppeloktave des höheren Tones *f* ist, so daß sich nun umgekehrt *f* dem Ton *c* zu nähern, also das Intervall zu verkleinern scheint[1].

---

[1] Manche der erwähnten Erscheinungen sind schon von einzelnen Musikern, andere besonders von STUMPF (Tonpsychologie I, S. 25, 255 ff., 235 ff. II, 408 f.) beobachtet worden. Doch hat man die Erscheinungen meist unter den bestimmten Begriffen der Empfindungs- oder der Urteilstäuschung zusammengefaßt. FELIX KRUEGER hat zuerst erkannt, daß hier, wie in andern Sinnesgebieten, Angleichung und Kontrast als einander ergänzende

Indem auf solche Weise die Assimilation und ihr Grenzfall, der Kontrast, in die Erscheinungen des Zusammenklangs wie der Aufeinanderfolge der Klänge eingreifen, können sie nun nicht bloß die Auffassung der Tonhöhen innerhalb nicht ganz unbeträchtlicher Grenzen verändern, sondern sich auch mit den andern psychischen Phänomenen, namentlich dem der Tonverschmelzung, kombinieren. Dabei scheint es wesentlich auch die Assimilation zu sein, die auf solche Weise die Ausbildung jener Beziehung einer Klangmasse auf einen einzigen Hauptton begünstigt, vermöge deren ein Zusammenklang stets zu einer Klangeinheit zu verschmelzen strebt. Ist demnach dieser Eindruck der Einheit wohl durchweg ein Mischprodukt aus Verschmelzung und Assimilation, so bilden in diesem Zusammenwirken beide wichtige Faktoren der Konsonanz und Dissonanz der Klänge.

Mehrfach hat man die Frage zu beantworten versucht, unter welchen Bedingungen zwei gleichzeitig erklingende Töne deutlich als zwei zu unterscheiden seien oder aber in einen zusammenzufließen scheinen. Dabei pflegen jedoch die beiden wohl zu unterscheidenden Fälle einer Verschmelzung im oben festgehaltenen Sinne, d. h. einer Verbindung der beiden Töne zu einer Einheit, in der jeder der Komponenten seine Qualität unverändert bewahrt, und einer Assimilation, d. h. einer Verbindung, in welcher entweder der eine Ton auf den andern oder beide wechselseitig aufeinander einwirken, im allgemeinen nicht geschieden zu werden. So fallen die von Bosanquet ausgeführten Versuche dieser Art offenbar teils in das Gebiet der Assimilation, teils wahrscheinlich auch noch in das der Absorption. Er suchte nämlich zu bestimmen, wie weit man zwei dem Einklang nahe Zungenpfeifenklänge voneinander entfernen müsse, um beide qualitativ gesondert wahrzunehmen; er glaubte dadurch eine Art Simultanschwelle der Töne ermitteln zu können[1]. Daß dies nicht der Fall ist, sondern daß hier bei kleinen Distanzen schon die Tonerregungen im Gehörorgan infolge der Ausbreitung der Schwingungen (durch Tonabsorption) zusammenfließen, und daß bei größeren deutlich auch in der Sukzession der Töne nachweisbare Assimilationswirkungen stattfinden, die beim Zusammenklang durch die von den Differenztönen ausgehenden Angleichungsphänomene verstärkt werden können, wurde oben ausgeführt. Stumpf suchte die gleiche Frage auch für weitere Intervalle zu beantworten. Da in diesem Fall die musikalische Übung die Wiedererkennung der bekannten musikalischen Intervalle so sehr begünstigt, daß höchstens die verstimmte Prime oder in manchen Fällen die Oktave als der häufigste Oberton des Einzelklangs unerkannt bleiben, so sah er sich jedoch genötigt, Unmusikalische zu seinen Versuchen zu verwenden[2]. Dies führt immerhin den Übelstand mit

Vorgänge sich gegenüberstehen und hier durchaus in Analogie mit den entsprechenden Erscheinungen auf andern Gebieten, z. B. des Gesichtssinnes, wirken. Vgl. F. Krueger, Psycholog. Studien, I, S. 342 ff. II, S. 241 ff.

[1] Bosanquet, Philos. Magaz. 5, Vol. XI, 1881.

[2] Stumpf, Tonpsychologie, II, S. 158 ff. Ähnliche Versuche mit übereinstimmenden Ergebnissen von Faist, Zeitschr. für Psychol. Bd. 15, 1897, S. 102 ff., Meinong und Witasek ebend. S. 189 ff.

sich, daß gerade eine solche Auswahl Unmusikalischer wieder in sehr verschiedene Gruppen zerfällt. Auf der einen Seite können musikalisch völlig Ungeübte ein verhältnismäßig feines musikalisches Gehör besitzen; auf der andern können unter ihnen solche sein, denen die Gabe der Tonerkennung so gut wie ganz mangelt. Bei musikalisch Geübten lassen sich daher vielleicht eher einigermaßen ähnliche Bedingungen herstellen. Von diesem Gedanken ausgehend suchte umgekehrt R. SCHULZE an solchen die Fähigkeit der Klanganalyse zu ermitteln, indem er als Maß die Zeitdauer verwandte, die ein Zusammenklang einwirken muß, damit seine Komponenten unterschieden werden können[1]. Hierbei zeigte es sich nun in höchst charakteristischer Weise, daß eine solche Verbindung zweier Klänge zur Einheit auf zwei wesentlich verschiedene Bedingungen zurückführt. Teils waren es nämlich die geläufigsten harmonischen Akkorde, die länger als die zwischenliegenden disharmonischen Zusammenklänge zur Analyse bedurften; teils waren aber in noch höherem Grade die beiden Sekunden, besonders die kleine, schwer zerlegbar. Dieses Resultat erklärt sich leicht, wenn man nicht nur die Verschmelzung der Teiltöne eines Klangs zur Einheit in Betracht zieht, die hier zugleich reproduktiv und assimilativ auf die Bestandteile des Zusammenklangs herüberwirkt, sondern wenn man auch der angleichenden Wirkungen gedenkt, die nahe benachbarte Töne, nicht selten unter begünstigender Mitwirkung von Differenztönen, aufeinander ausüben. Besonders im letzteren Fall verstecken sich dann zugleich die dissonanten Töne hinter einer diffuseren Beschaffenheit des Klangs, die bereits den Übergang zu den hierher gehörigen Phänomenen der Klanggeräusche bildet. Durch seine sorgfältige Analyse der Assimilationsvorgänge im Klanggebiet hat besonders F. KRUEGER bei vielen der hierher gehörigen Erscheinungen, die man früher bald unberechtigter Weise als Schwellenphänomene gedeutet, bald unterschiedslos unter dem auf solche Weise einen klar bestimmten Inhalt verlierenden Begriff der »Verschmelzung« zusammengefaßt hatte, über die beteiligten Elementarphänomene Rechenschaft gegeben[2].

c. Konsonanz und Dissonanz.

Der Ausdruck »Konsonanz« ist in dem heutigen, zunächst aus dem musikalischen Bedürfnis hervorgegangenen Sprachgebrauch kein völlig eindeutiger. Zunächst bezeichnet er, seiner unmittelbaren Wortbedeutung entsprechend, gewisse Eigenschaften des Zusammenklangs, und in dieser engeren und eigentlichen Bedeutung wird auch das Wort noch jetzt am häufigsten angewandt. Es wird dann aber auch auf Tonfolgen übertragen, die den konsonant genannten Zusammenklängen in gewissen Haupteigenschaften gleichen. Der Ursprung dieser Übertragung liegt offenbar darin, daß die Begriffe der Konsonanz und Dissonanz ursprünglich nach den Gefühlswirkungen gebildet wurden, welche die so benannten

---

[1] R. SCHULZE, Philos. Stud. Bd. 14, S. 471 ff.

[2] Vgl. dazu außer den oben zitierten Arbeiten F. KRUEGER, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 307 ff. und Archiv für ges. Psychol. Bd. 1, 1903, S. 205 ff. Bd. 2, S. 54 ff.

Zusammenklänge hervorbringen, so daß es nahe liegt, sobald einer Tonfolge ähnliche Wirkungen zukommen, auch für sie die nämlichen Begriffe anzuwenden. Das musikalische Gehör entscheidet im allgemeinen lediglich nach dieser Gefühlswirkung, welche Zusammenklänge oder Tonfolgen konsonant seien oder nicht; und auch der theoretische Musiker begnügt sich in der Regel damit, empirisch festzustellen, welche Tonverbindungen jenes Gefühl des »Zusammenstimmens« hervorzubringen pflegen. Sollte er alle Konsonanzregeln in einen Ausdruck zusammenfassen, so bliebe ihm nur übrig zu sagen, daß Konsonanz eben Konsonanz sei. In der Tat ist die allgemeine Aufgabe, die hier vorliegt, keine musikalische, sondern durchaus eine psychologische. Auch die Psychologie wird aber dieselbe nicht anders lösen können als so, daß sie von jenem Gefühl der Befriedigung, des »Zusammenstimmens« ausgeht, welches tatsächlich zur Unterscheidung der konsonanten Tonverbindungen geführt hat; und ihre Aufgabe wird zunächst darin bestehen, die Eigenschaften festzustellen, die den konsonanten Tonverbindungen zukommen, und durch die sie sich von andern Vorstellungsverbindungen unterscheiden. Da wir es hier nur mit der Konstitution der Gehörsvorstellungen zu tun haben, so wird uns dagegen die Frage nach der Natur der Gefühle, die zur Ausscheidung der konsonanten Tonverbindungen geführt haben, und nach den Beziehungen dieser Gefühle zu den Eigenschaften der Klangvorstellungen, erst in der Lehre von den komplexen Gefühlen (in Abschn. IV) beschäftigen können. Um auch im Ausdruck diese Scheidung der Aufgaben anzudeuten, wollen wir mit dem Namen der Konsonanz und Dissonanz ausschließlich die Vorstellungseigenschaften der betreffenden Klanggebilde bezeichnen, die der Harmonie und Disharmonie aber für die entsprechenden Gefühle beibehalten, eine Unterscheidung, die sich vielleicht auf eine zwar nicht strenge festgehaltene, aber doch im allgemeinen auch im gewöhnlichen Sprachgebrauch vorwaltende Bedeutungsverschiedenheit dieser Benennungen berufen darf. Wie überall und namentlich auf ästhetischem Gebiet die Konstitution der Vorstellungen und ihrer Verbindungen die Grundlage für die Deutung der begleitenden Gefühle abgeben muß, so ist das natürlich hier nicht minder der Fall. Wenn daher die Musik von dem Harmoniegefühl geleitet wurde, als sie die Bedingungen der Konsonanz auffand, so hat die psychologische Untersuchung diesen Weg umzukehren: sie hat zuerst festzustellen, was Konsonanz ihren Empfindungs- und Vorstellungselementen nach ist, um daraus dann weiterhin womöglich die Entstehung der Harmoniegefühle zu begreifen.

Die Psychologen und die Musiktheoretiker teilen nun nicht selten mit andern Theoretikern die Vorliebe für solche Interpretationen der Erscheinungen, die womöglich alles unter ein und denselben Gesichtspunkt

bringen. Wie das Wort Konsonanz ein einziges ist, so sollen auch die sämtlichen unter sie fallenden Erscheinungen auf eine und dieselbe Grundtatsache zurückzuführen sein. Nun ist aber eine Klangverbindung an sich eine sehr zusammengesetzte Erscheinung, und die Harmoniegefühle, die durch Konsonanzen entstehen, zeigen zwar eine gewisse allgemeine Übereinstimmung: im einzelnen sind sie jedoch nicht minder mannigfaltig, wie es die Konsonanzen und Dissonanzen je nach den besonderen Bedingungen ihrer Entstehung selbst sind. Anzunehmen, daß ein einziger überall gleichmäßig anzuwendender Begriff hier der Schlüssel aller Rätsel sei, hat daher von vornherein eine außerordentlich geringe Wahrscheinlichkeit für sich. Man kann sich darum solchen Theorien gegenüber dem Eindruck nicht entziehen, daß hier, wie so manchmal, das Wort der Feind des Begriffs sei. Weil nun einmal das Wort Konsonanz dasselbe ist, so sollen sich auch ihre unendlich vielgestaltigen Erscheinungen samt und sonders auf eine einzige Ursache zurückführen lassen. Was wunder, wenn diese Ursache dann beim Lichte besehen auch nur ein Wort ist?

Im Gegensatze zu dieser, anderwärts vielleicht nützlichen, in der Psychologie, in der es überall auf die möglichst unveränderte Auffassung der Tatsachen ankommt, unter allen Umständen schädlichen unifizierenden Tendenz werden wir daher gut tun, vielmehr von der Voraussetzung auszugehen, daß alle die Momente, die tatsächlich die konsonanten von den andern Klangverbindungen unterscheiden, mutmaßlich auch eine mitwirkende Bedeutung bei der Entstehung der Konsonanz besitzen; und wo einzelne nur bei gewissen Konsonanzen vorhanden sind, da werden wir annehmen dürfen, daß dies möglicherweise mit den besonderen Eigentümlichkeiten zusammenhänge, welche die Konsonanz in verschiedenen Fällen darbietet, so daß daraus an und für sich noch nicht auf eine Bedeutungslosigkeit solcher variablerer Momente zurückgeschlossen werden darf. Unter diesem Gesichtspunkte, der im wesentlichen nur eine Anwendung der bekannten Regel ist, daß komplexe Wirkungen auch komplexe Ursachen zu haben pflegen, ergeben sich aus den oben erörterten Eigenschaften der Klangvorstellungen und mit Rücksicht zugleich auf die bereits bei den Gehörsempfindungen (in Kap. X) besprochenen Tatsachen die folgenden fünf Momente als mehr oder minder konstante Bedingungen der Konsonanz: 1) die Zahl der primären Differenztöne verschiedener Ordnung, die bei den konsonanten Zusammenklängen ein reziprokes Maß für jene Eigenschaft der Konsonanz abgibt, die wir ihre Einfachheit nennen können; 2) das regelmäßige Verhältnis der Tonstrecken, die bei der Tonbewegung in konsonanten Intervallen die Klänge durchmessen, eine Eigenschaft, die sich als die Regelmäßigkeit der Konsonanz be-

zeichnen läßt; 3) die direkte und die indirekte Klangverwandtschaft, von denen die erstere vornehmlich bei der Sukzession der Klänge, die letztere beim Zusammenklang wirksam wird: da sie diejenigen Bestandteile der Konsonanz bilden, auf denen zumeist der spezifische Charakter der musikalischen Tonverbindungen beruht, so lassen sie sich als das *Moment der Differenzierung der Konsonanz nach den Tonelementen* bezeichnen; 4) die *Assimilation* oder *Dissimilation* (angleichende oder kontrastierende Wirkung), die ein Ton auf einen andern, oder die zwei Töne wechselseitig aufeinander ausüben, und die, meist nur in verschiedenem Grade, sowohl bei gleichzeitigen wie aufeinanderfolgenden Klängen stattfinden können; endlich 5) die *Verschmelzung* der Töne zu einer Klangeinheit, die sich, ähnlich wie die indirekte Klangverwandtschaft, zunächst nur bei der eigentlichen Konsonanz, der des Zusammenklangs, geltend macht, und die sich andern Verschmelzungsvorgängen gegenüber durch die zwei Merkmale auszeichnet, daß sie eine *distinkte* Tonverschmelzung in dem oben angegebenen Sinne ist, und daß zum *herrschenden* Element in einer gegebenen Klangverbindung derjenige Ton wird, der durch die vier vorangegangenen Bedingungen am stärksten assoziativ gehoben ist. Hierdurch steht zugleich die Tonverschmelzung mit den übrigen Faktoren der Konsonanz in der eigentümlichen Wechselbeziehung, daß der für jede Verschmelzung wesentlichste Faktor, der dominierende Ton, selbst erst die Wirkung der übrigen Konsonanzbedingungen, namentlich der direkten und indirekten Klangverwandtschaft und der assimilativen Wirkungen ist. In der Eigenschaft der konsonanten Zusammenklänge als distinkter Tonverschmelzungen liegt endlich noch ihr wesentlicher Unterschied von der *Dissonanz* begründet, deren Wesen eben darin besteht, daß bei ihr *diffuse* Verschmelzungen wirksam werden, infolge deren sie eine Übergangsstufe bildet zwischen Klang und Geräusch.

Jedes dieser Momente bildet einen Faktor der Erscheinungen, die wir zusammenfassend mit dem Namen der Konsonanz belegen. Indem aber bald dieser bald jener Faktor überwiegt oder zurücktritt und unter Umständen auch ganz fehlen kann, scheidet sich die Konsonanz selbst in die Fülle ihrer einzelnen Erscheinungsformen. In dieser Beziehung sind für die psychologische Seite der letzteren hauptsächlich wohl die folgenden Gesichtspunkte maßgebend.

1. Die *primären Differenztöne* haben wir als diejenigen Elemente kennen gelernt, die unter allen Umständen bei dem Zusammenklang zweier Töne bestimmte Intervalle als die von Nebentönen freiesten, also die Zusammenklänge selbst als die *einfachsten* erscheinen lassen (S. 106 f.). In erster Linie steht hier die *Oktave* als das Intervall, bei dem spezifische Differenztöne überhaupt hinwegfallen. Die Oktave ist also bei ein-

fachen Klängen der einzige absolute Zweiklang, derjenige, in dem neben den Haupttönen selbst keine weiteren, resultierenden Töne enthalten sind. Das nächsteinfache Intervall ist dann die Quinte, die noch den ersten und zweiten Differenzton erkennen läßt, während alle höheren verschwinden bzw. mit den andern Tönen zusammenfallen. Ihr folgen die weiteren Intervalle in der früher (S. 412) angegebenen Reihenfolge. Die Fig. 247 veranschaulicht diese Verhältnisse. Auf der ausgezogenen Horizontallinie sind die Hauptintervalle innerhalb der Oktave [kl. Terz, gr. Terz, Quarte, verm. Quinte (5 : 7), Quinte, kl. Sext, gr. Sext, verm. Septime (4 : 7), kl. Septime] aufgetragen, dazu in vertikaler Richtung die Schwingungszahlen der Differenztöne in Bruchteilen des tieferen der beiden Primärtöne.

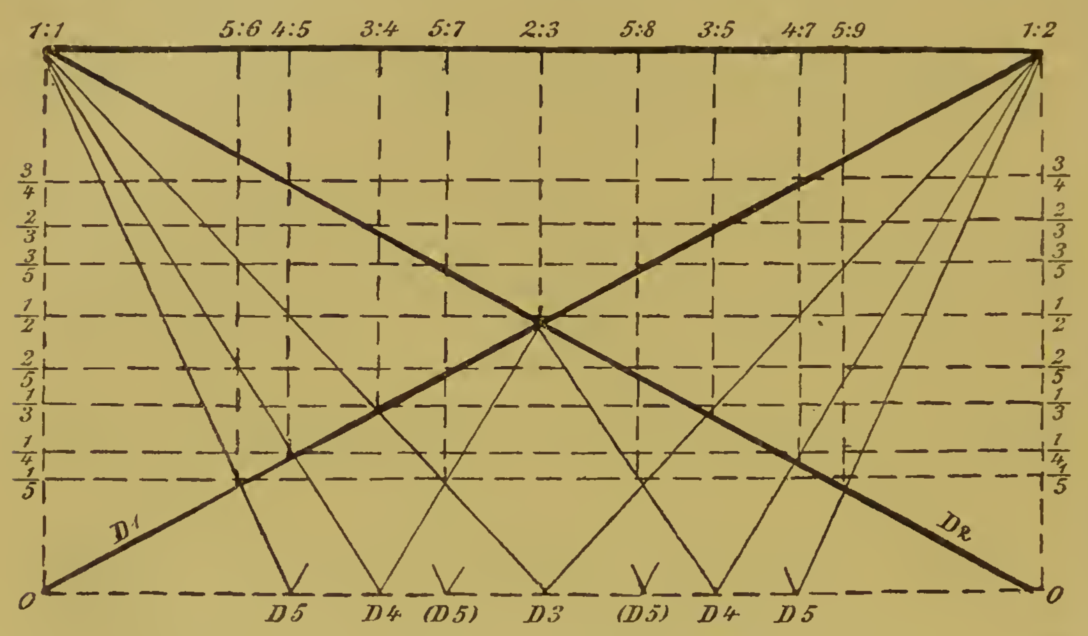


Fig. 247. Schema der primären Differenztöne bei den Intervallen innerhalb der Oktave, nach F. KRUEGER.

Die Durchmesser, die das aus diesen beiden Linien gebildete Rechteck durchschneiden, entsprechen den Differenztönen vom ersten bis fünften (D_1 bis D_5). Wo zwei dieser Durchmesser sich schneiden, da fallen die betreffenden Differenztöne zusammen; fällt ein Durchmesser auf die untere Nulllinie, so bezeichnet dies ein Verschwinden des Differenztons. So ist also z. B. für die Quinte $D_2 = D_1$, ebenso $D_4 = D_1$, und $D_3 = 0$; für die große Terz ist $D_1 = 1/4$, $D_2 = 3/4$, $D_3 = 1/2$, und D_4 fällt mit D_1 zusammen, usw.[1].

Ergibt sich hieraus, daß konsonante Intervalle allgemein solche sind, die sich den zwischenliegenden gegenüber durch Einfachheit des Klangs

[1] F. KRUEGER, Archiv für die ges. Psychol. Bd. 1, 1903, S. 272 f.

auszeichnen, so ersieht man nun zugleich aus der angegebenen Reihenfolge, daß diese Eigenschaft, so wichtig sie ohne Zweifel ist, doch nicht wohl die einzige sein kann, die das Harmoniegefühl und demnach auch die Stufenfolge der Konsonanzen bestimmt. Auf der andern Seite ist aber die Stellung, die nach diesem Prinzip der Einfachheit die Oktave und mit einer gewissen Annäherung selbst die Quinte einnimmt, von vornherein als ein wichtiges, wahrscheinlich auch für die übrigen Konsonanzbedingungen maßgebendes Moment anzuerkennen. So sehr nämlich dieses Merkmal der Einfachheit an und für sich an die Zusammenklänge gebunden ist, so sind doch gerade diese extremen Fälle geeignet, auch auf die Tonfolge einzuwirken. Hat die Ausbildung des musikalischen Gehörs beim menschlichen Gesang begonnen, und wurde der Gesang sicherlich von Anfang an als ein gemeinsamer in Arbeits- und Ritualgesängen geübt, so hat es in diesem Sinne eine absolut homophone Musik wohl niemals gegeben. Je nach individueller Beschaffenheit wurde die eine Stimme von der andern in höherer oder tieferer Tonlage begleitet. Bei dieser ursprünglichen Form der Polyphonie mußte aber vor allem die Oktave neben dem Einklang als zusammenstimmend empfunden werden, worauf sich dann wohl bald auch die Quinte als das unter den übrigen einfachste Intervall anschloß. Für die Ausbildung dieser Hauptintervalle hat also aller Wahrscheinlichkeit nach dieses Moment der Einfachheit die allgemeinere Bedeutung, daß es der Tonbewegung die Grenzen gab, zwischen denen sich die weiteren Intervalle ausbildeten, die zur gesetzmäßig aufgebauten diatonischen Tonleiter geführt haben.

2. Nachdem jene primäre Gliederung gegeben ist, führt nun aber die Tonbewegung selbst durch die Eigenschaft des Gehörs, Strecken der Tonlinie innerhalb mäßiger Grenzen zu vergleichen und symmetrisch zu teilen, von selbst zu einem weiteren Motiv der Intervallbildung. Wir teilen eine innerhalb einer Oktave gelegene Tonstrecke ohne Schwierigkeit in zwei Hälften. Die Konstanz der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit im Tongebiet macht sich hierbei in dem Sinne geltend, daß die beiden so entstandenen Tonstrecken zugleich objektiv gleichen absoluten Differenzen der Schwingungszahlen entsprechen (S. 80 ff.). Da eine solche Teilung auch an außerhalb der musikalischen Intervalle liegenden Tonstrecken geübt werden kann, so bewährt sich hierin dieses metrische Prinzip als ein selbständiges, das natürlich in der Wirklichkeit zumeist mit den andern, phonischen Momenten zusammenwirkt, und das namentlich in unserm Musiksystem in dem einen Punkte an jene gebunden ist, daß die Hauptgrenzen der so vorgenommenen Gliederungen in den Eigenschaften der zusammenklingenden Töne vorgebildet sind. Dies trifft, wie oben bemerkt, vor allem für die Oktave, dieses Grundmaß aller

weiteren Tongliederungen, ohne weiteres zu. Ist sie gegeben, so bildet dann nach dem angegebenen Prinzip der Messung der Empfindungsstrecken die Quinte die untere, die Quarte die obere Hälfte der Oktave, und die Quinte zerfällt ihrerseits wieder in die große Terz als ihre untere, die kleine als ihre obere Hälfte. Dies sind die Intervalle der **unmittelbaren Teilung der Oktave** (Fig. 248 *A*). Unter ihnen sind die Intervalle der **ersten** Teilung, Quinte und Quarte, zugleich nach der musikalischen Auffassung die vollkommensten, die Intervalle der **zweiten** Teilung, die Terzen, die ihnen zunächst stehenden Konsonanzen. Sind diese Hauptintervalle gegeben, so werden nun für ein geübtes Gehör eventuell auch über den Umfang der Oktave hinaus weitere Teilungen ausführbar. So zerfällt die Doppeloktave in Dezime und kleine Sext (4 : 10 und 10 : 16), die Doppeloktave + Terz in Duodezime und große Sext (4 : 12 und 12 : 20, Fig. 248 *B*). Dies sind die Intervalle der **dritten**, der über die Oktave

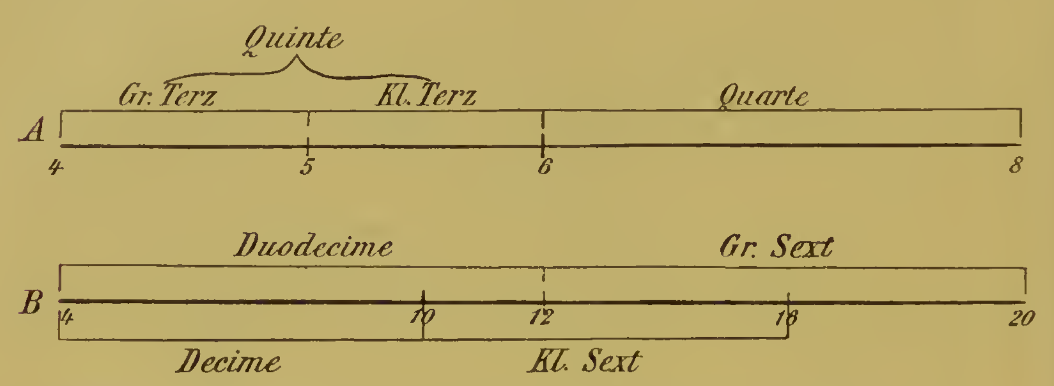


Fig. 248. Schema für die Zweiteilung der Tonstrecken. *A* Teilung der Oktave. *B* Teilungen über die Oktave hinausgreifender Tonstrecken.

hinausgreifenden Teilung, deren untere Teilungsglieder metrisch wie phonisch als Oktavenversetzungen der Quinte (Duodezime) und der großen Terz (Dezime) erscheinen, worauf dann die beiden Sexten analoge Ergänzungen derselben bilden, wie dort die Quarte und kleine Terz, so daß demnach die große Sext das der Quart, die kleine Sext das der kleinen Terz korrespondierende Intervall ist. Damit dürften aber auch die äußersten Grenzen solcher dem Gehör nach möglichen Zweiteilungen erreicht sein. Außerdem werden diese selbstverständlich bei den tiefsten und höchsten Tönen durch die hier eintretende geringere Empfindlichkeit für Höhenunterschiede beschränkt und schließlich ganz aufgehoben (Kap. X, S. 87).

Wirkt in diesen Eigenschaften der Hauptintervalle unseres Musiksystems das metrische Prinzip überall nur in Verbindung mit den phonischen Einflüssen der Teiltöne und der im Zusammenklang entstehenden Grundtöne.

so gibt es nun aber eine Reihe weiterer Erscheinungen, in denen die gleichmäßige Einteilung von Tonstrecken für sich allein schon einen in das Gebiet der »Konsonanz« im weiteren Sinne hereinspielenden Einfluß ausübt. Dahin gehört zunächst der Eindruck der chromatischen Tonskala. Indem diese in lauter Halbtonschritten fortschreitet, schließt sie irgend eine phonische Beziehung der aufeinanderfolgenden Töne aus. Aber man braucht diese Skala nur mit irgend einer andern ganz unregelmäßigen Tonfolge zu vergleichen, um sofort wahrzunehmen, daß sie eben durch die Regelmäßigkeit der Tonschritte einen wohlgefälligen Eindruck machen kann, dessen die andern beliebig irregulären Folgen entbehren. Hier hängt nun auch dieses Phänomen wahrscheinlich mit den in das gleiche Gebiet gehörenden exotischen Musiksystemen vieler Natur- und Kulturvölker zusammen, die nach unserer musikalischen Auffassung der konsonanten Intervalle bis auf dürftige Anfänge entbehren, bei denen aber nun gerade jene metrischen Verhältnisse eine eigenartige, durch lang geübte Assimilationen befestigte Art der Übereinstimmung zu erzeugen scheinen. In der Regel hat sich auch bei solchen Systemen die Oktave zum Hauptintervall ausgebildet, was sich leicht aus jener assimilativen Beziehung zum Grundton erklärt, wie sie schon bei der reinen Tonfolge homophoner Musik sich aufdrängt. Die so durch Klangverwandtschaft abgegrenzte Strecke wird dann aber weiterhin rein metrisch gegliedert: so bei den 5- und 7 stufigen Tonleitern des malayischen Archipels, in denen die Oktave jedesmal in äquidistante Tonstrecken geteilt ist; oder in der japanischen, indischen, türkischen Musik, wo die Abstimmung nach gleichen Tonschritten mit wenigen dem phonischen System angehörigen Bestandteilen verbunden ist, zu denen neben der Oktave besonders auch die Quinte gehört. Dabei macht sich dann freilich zugleich geltend, daß eine solche Gliederung in äquidistante Strecken sehr viel unsicherer ist als die unmittelbare Auffassung der Tonverwandtschaft zweier Klänge, namentlich wenn die letztere noch durch die im Zusammenklang sich ausprägende Einheit des Klangs unterstützt wird. Daher uns denn auch diese exotischen Musiksysteme einen sehr disharmonischen Eindruck zu machen pflegen[1]. Nach allem dem erscheint neben dem durch unmittelbare Klangassimilation erzeugten Hauptintervall der Oktave die primitive Tonskala wahrscheinlich ganz auf dem vermöge der Unsicherheit des Tongedächtnisses zunächst nur unvollkommen durchgeführten metrischen Prinzip der

[1] Über solche exotische Musiksysteme mit wahrscheinlich vorwiegend metrischem Aufbau der Skalen vgl. ABRAHAM und HORNBOSTEL, Sammelbände der Internationalen Musikgesellschaft, IV, 1903, S. 26 ff. V, 1904, S. 383 ff. STUMPF, Über die Musik der Siamesen, Akustische Untersuchungen, S. 69 ff. Dazu KRUEGER, Archiv für die ges. Psychol. I, S. 248 f.

äquidistanten Teilung aufgebaut. Eine festere Regelung erfährt sie wohl erst, indem die subjektiven Tondistanzen mittels der Dimensionen der Musikinstrumente, namentlich der Saiteninstrumente, objektiv festgehalten werden, bei welchem Akte der Objektivierung nun zugleich die schon in den primitiven Kulten normgebende Zahlenmystik auf die Entwickelung Einfluß gewinnt, während gleichzeitig das Zusammenklingen der Stimmen in polyphone Formen hinüberleitet, in denen die Einflüsse der Klangverwandtschaft zum Übergewicht gelangen. Allem Anscheine nach steht noch die Musik der Griechen inmitten dieses Übergangs von einem noch vorwiegend metrisch gerichteten, unsicher nach dem subjektiven Eindruck schwankenden primitiveren Zustande zu den entwickelteren, auf feste objektive Messungshilfsmittel und zugleich auf Klangeinheit und Klangverwandtschaft zurückgreifenden Musiksystemen[1].

3. Die beiden bis dahin erörterten Momente der Konsonanz können insofern quantitative genannt werden, als die in dem Verschwinden der Differenztöne begründete Einfachheit des Klangs inmitten der Vielheit gleichzeitiger Tonempfindungen ein analoges Maß beim Zusammenklang der Töne abgibt, wie die Einfachheit der Gliederung der Tonstrecken ein solches bei der Sukzession der Klänge ist. Dem gegenüber sind nun die beiden weiteren Momente in dem Sinne qualitative, als bei ihnen durchaus nur die Tonbeschaffenheit der Klangelemente in Frage kommt. Unter ihnen steht wieder die Klangverwandtschaft in erster Linie. In ihren beiden oben erörterten Formen umfaßt sie Klangfolge und Zusammenklang in der Weise, daß für die Klangfolge die direkte, für den Zusammenklang die indirekte Verwandtschaft das zunächst hervortretende Moment ist, während doch zugleich, gewissermaßen als Hilfskraft, bei der Klangfolge auch die indirekte, bei dem Zusammenklang die direkte Verwandtschaft mitwirken kann. Eine Klangfolge wie $c\,c\,g\,c^1$ ordnet sich, wenn die einzelnen Klänge die nächsten Obertöne als deutlich klangfärbende Elemente mit sich führen, ohne weiteres in die drei Stufen abnehmender Verwandtschaft $c\,c^1$, $c\,g$ und $c\,c$ (S. 413). In der Ordnung $c\,e\,g\,c^1$ erscheinen daher die vier Klänge als eine Bewegung, die zuerst zu einem relativ größten Unterschied übergeht, um dann durch eine Zwischenstufe zur größten Übereinstimmung zurückzukehren. Sind die Klänge relativ obertonfrei, so tritt dieses Moment der direkten Verwandtschaft zurück, was sich denn auch in dem eigenartigen Charakter der Klangfolgen reiner Töne zu erkennen gibt. Daß aber gleichwohl auch hier jener Eindruck, den wir vermöge der oben erwähnten Übertragung vom Zusammenklang auf die Klangfolge eine Konsonanz der

[1] Vgl. Völkerpsychologie, III² (Die Kunst), S. 470 ff.

letzteren nennen, keineswegs fehlt, erklärt sich zunächst daraus, daß nun um so reiner und deutlicher die metrische Ordnung der Tonstrecken in unserer Empfindung hervortritt. Denn je größer die Klangfülle der Klänge ist, um so mehr wird diese Ordnung getrübt, indem sich jetzt in den Verhältnissen der Obertöne eine Menge von Nebenintervallen geltend macht, daher auch experimentell an obertonfreien Klängen tatsächlich die Teilungen von Tonstrecken am sichersten gelingen. Zu diesem ersten kommt noch ein zweites Moment. Kann auch bei obertonfreien Klängen von einer direkten Verwandtschaft nicht die Rede sein, so fehlt ihnen doch die indirekte nicht. In einer Klangfolge wie $c\,e\,g\,c^1$ sind die einzelnen Töne sämtlich simultan in dem Grundklang C_1, und mehrere von ihnen sind außerdem in dem noch näher liegenden C als Obertöne enthalten. Eine assimilative Beziehung jener einzeln angegebenen Töne zu den Tönen der Obertonreihe liegt daher um so näher, als sich uns hier, wie die Vergleichung von Klangfolgen, Zusammenklängen und Einzelklängen lehrt, überall gewisse Verwandtschaftsbeziehungen aufdrängen, indem wir z. B. die Klänge der durch geradzahlige Teiltöne ausgezeichneten musikalischen Instrumente dem Quart-, der durch ungeradzahlige ausgezeichneten dem Sextintervall unmittelbar als verwandt auffassen, mögen nun jene Intervalle sukzessiv oder simultan angegeben werden (S. 419). Selbstverständlich handelt es sich aber hier nirgends um ein wirkliches Erkennen von Teiltönen oder um ein Erinnern an ehemals gleichzeitig gehörte Tonbestandteile; sondern, wie wir die Klangfarbe nur als ein Ganzes wahrnehmen, so werden auch diese durch übereinstimmende Elemente begründeten Verwandtschaften bestimmter Klänge, Klangfarben und Klangfolgen lediglich in ihrem Totaleffekt und in ihrer Wirkung auf das Harmoniegefühl aufgefaßt[1].

Wird bei der Klangfolge die indirekte Klangverwandtschaft nur in den assimilativen Beziehungen wirksam, die den Einzelklang und seine Elemente verbinden, so wird nun dem gegenüber beim Zusammenklang diese Beziehung zu einer unmittelbar empfundenen. Denn eben mit

[1] Wenn die hier erwähnten assoziativen Beziehungen von manchen Psychologen mit dem Hinweis darauf abgetan werden, daß wir von einer solchen »Erinnerung« nichts wüßten, und daß zwar möglicherweise unmittelbar vorangegangene auf kurze Zeit nachfolgende Gehörseindrücke durch Erinnerung wirken könnten, nicht aber solche, die einer entfernteren Zeit angehörten, so ergibt sich aus dem oben Gesagten ohne weiteres das dieser Kritik zugrunde liegende Mißverständnis. Es beruht darauf, daß erstens das ganze große und wichtige Gebiet der dunkler bewußten psychischen Vorgänge ignoriert, und daß zweitens die elementare Natur der Assimilationsprozesse völlig verkannt wird. Die Assoziation, von der die Assimilation nur eine spezielle Form ist, und deutlich bewußtes Erinnern fallen auf dem Standpunkte jener Reflexionspsychologie zusammen, indes zugleich vermöge der hier herrschenden Verdinglichung der Vorstellungen jede Assoziation fertige Vorstellungen verbinden soll, und schließlich alle Beziehungen, in welche die Vorstellungen zueinander treten, auf das Schema logischer Vergleichung zurückgeführt werden.

Rücksicht auf die indirekte Klangverwandtschaft erscheint der konsonante Zusammenklang als die Verbindung einer Mehrheit von Tönen, in der die wesentlichen Eigenschaften des Einzelklangs in größerer Tonstärke und Tonfülle wiederkehren. Nur darin ist in gewissem Sinne eine Umkehrung eingetreten, daß die im Einzelklang schwächeren Elemente hier die stärkeren, und die in jenem stärkeren die schwächeren geworden sind. Der Grundton, im Einzelklang der herrschende, ist im Zusammenklang ein bloß modifizierendes Tonelement, das aber darin seinen spezifischen Einfluß bewahrt, daß es die Lage des herrschenden Tones bestimmt und seine Wirkung erhöht. Diese Wirkung des Grundklangs, auf dem sich im konsonanten Zusammenklang das Tongebilde aufbaut, kompliziert sich dann aber sofort mit einer andern, nicht minder unmittelbaren: sie besteht in der größeren Macht, die einzelne Obertöne durch ihre Koinzidenz erlangen. Naturgemäß tritt dieser Einfluß um so mehr hervor, je mehr derjenige eines deutlich ausgeprägten und allen Klangbestandteilen gemeinsamen Grundklangs verschwindet. Indem die objektiven akustischen Gesetze mit den subjektiven Verhältnissen der Empfindung hier wieder so zusammentreffen, daß beide Momente sich gleichzeitig ausschließen und ergänzen, ergibt sich jene oben geschilderte Tonbewegung in zwei entgegengesetzten Richtungen, aufsteigend von einem übereinstimmenden Grundton, absteigend von einem übereinstimmenden Oberton, wie sie in den Gegensätzen des Dur und Moll verwirklicht ist. Beide Tonbewegungen stehen sich jedoch nicht bloß in ihrer Richtung gegenüber, sondern auch in den Bedingungen, in denen sich jedesmal Klangfolge und Zusammenklang unterscheiden und in gewissem Sinn ergänzen. Ist bei dem Zusammenklang die von dem Grundton ausgehende Tonbewegung die machtvollere, weil sie, abgesehen von der spezifischen Gefühlswirkung der tieferen Töne, als eine verstärkte Klangfülle empfunden wird, so hat in der Klangfolge die absteigende Tonbewegung ein Übergewicht, weil die Klangverwandtschaft, auf der sie beruht, unmittelbar nur in der Klangfolge zur Geltung kommt. Hieraus erklärt es sich wohl, daß in der homophonen Musik der Volksgesänge aller Nationen und in der von den Griechen vor andern bevorzugten dorischen Tonart eine unserem Moll analoge Tonbewegung die häufigste ist[1]; und wahrscheinlich ist es daher erst die Ausbildung der polyphonen Musik, durch die sich das Dur-Geschlecht seine Vorherrschaft in der neueren Zeit errungen hat. Übrigens gewinnt auch die absteigende Tonfolge von dem gemeinsamen Oberton aus in dem Gebiet der konsonanten Zusammenklänge ihre

---

[1] Über die Tonsysteme der Griechen vgl. HELMHOLTZ, Tonempfindungen4, S. 441 ff. R. WESTPHAL, Griechische Harmonik und Melopoeie3, 1866, bes. S. 154 ff. Dazu Völkerpsychologie, III2, S. 467 ff.

eigenartige Bedeutung. Denn wiederum treten hier Klangfolge und Zusammenklang in das Verhältnis, daß die assimilativen Beziehungen, in welche die aufeinander folgenden Klänge durch gemeinsame Tonelemente treten, bei der Umwandlung in ein simultanes Gebilde einer unmittelbaren Klangwirkung Platz machen[1].

4. Auf diese Weise steht mit der Eigenart beider Klangwirkungen zugleich die Form, in der die Assimilationswirkungen bei ihnen wirksam werden, in enger Beziehung. Bei der Klangfolge spielt die reproduktive Assimilation die Hauptrolle. An bereits geläufige Klangfolgen werden neu einwirkende angeglichen, so lange die Unterschiede gewisse engere Grenzen nicht überschreiten. Geschieht dies, so springt dagegen die Angleichung in einen Kontrast um, indem sich die eigentümlichen Empfindungs- und Gefühlswirkungen der Intervalle stärker in ihren Unterschieden ausprägen. Beim Zusammenklang dagegen wird, sofern er sich nicht zugleich mit einer Akkordfolge verschiedener Qualität verbindet, wesentlich nur die angleichende Assimilation in ihrer unmittelbaren Form wirksam, indem die einander nahe liegenden Tonelemente, sowohl die primären wie insbesondere auch die der Differenztöne, als unmittelbare Klangeinheiten eine assimilativ verbundene Tonstrecke von einer diffuseren, die Sonderung der Töne aufhebenden Klangqualität bilden. Dadurch verstärkt diese Angleichung hier ebensowohl den Eindruck der Einheit, wie sie der deutlichen Sonderung der Klangbestandteile entgegenwirkt.

5. Die konsonanten Zusammenklänge gewinnen schließlich einen Teil ihrer Eigenart durch die spezifische Form intensiver Verschmelzung, die sie auszeichnet. Nicht die Tatsache, daß sie überhaupt Verschmelzungen sind, charakterisiert die konsonanten Zusammenklänge. Denn das sind die Einzelklänge und die Geräusche auch. Noch weniger stehen Konsonanz und Grad der Verschmelzung in irgendeiner Beziehung zueinander. Denn dann würden wiederum die Einzelklänge und viele Geräusche die vollkommensten Konsonanzen sein; und noch weniger würde der Begriff der Konsonanz auf gewisse Klangfolgen in einem frei-

[1] Von einigen Psychologen ist die erörterte Wirkung der koinzidierenden Obertöne in Zusammenklängen so ausgelegt worden, als werde dabei ein unmittelbares Erkennen ihrer übereinstimmenden Qualität angenommen. Selbstverständlich kann aber die tatsächliche Bedeutung der koinzidierenden Obertöne lediglich darauf beruhen, daß sie stärkere Klangbestandteile sind als andere Obertöne. Ihre Wirkung im Zusammenklang ist darum auch eine wesentlich andere als die in der Klangfolge, wo wir sie zwar wiederum nicht als solche unmittelbar wahrnehmen, wohl aber den Eindruck der Verwandtschaft der aufeinander folgenden Klänge empfangen. Beidemal unterscheiden sich eben die Wirkungen genau so, wie sich die sogenannte Konsonanz der Klangfolge von der des Zusammenklangs unterscheidet. Die Übertragung des gleichen Namens auf Erscheinungen, die neben gewissen Beziehungen wesentliche Verschiedenheiten bieten, darf doch nicht dazu verführen, die mit diesen letzteren verbundene Änderung des Konsonanzbegriffs selbst zu übersehen.

lich veränderten Sinne übertragen werden können[1]. Sind nun aber auch Konsonanz und Verschmelzung toto genere verschiedene Begriffe, so stehen sie doch insofern in Beziehung zueinander, als die Art der Verschmelzung insbesondere bei den konsonanten Zusammenklängen eine eigentümliche, sowohl von der des Einzelklangs wie von der des Geräusches abweichende ist. Bedingung für den Eindruck dieser eigentlichen Konsonanz, wie wir sie im Unterschiede von der erst infolge einer Übertragung des Begriffs sogenannten Konsonanz der Klangfolge nennen können, ist nämlich erstens die relativ geringe Festigkeit der Verschmelzung. Darum rechnen wir nicht bloß den Einzelklang nicht zu den Konsonanzen, sondern selbst das Intervall der Oktave verweist der Musiker mit Recht auf die Grenze zwischen eigentlicher Konsonanz und Einklang. Ein zweites, der Konsonanz mit dem Einzelklang gemeinsames, aber es von dem Geräusch unterscheidendes Merkmal besteht sodann darin, daß sie eine distinkte Tonverschmelzung in dem oben (S. 443) definierten Sinne ist. Von dem Einklang und Einzelklang weicht sie wiederum dadurch ab, daß Elemente, die im Einzelklang über der Bewußtseinsschwelle liegen, jedoch, weil sie dunkler bewußt sind, nicht als Einzeltöne aufgefaßt werden, in den Haupttönen des konsonanten Zusammenklangs zu gesonderter Auffassung gelangen. Dazu kommt endlich als drittes Merkmal, daß jeder konsonante Zusammenklang, ebenso wie der Einzelklang, ein einziges herrschendes Tonelement enthält. Dieser dominierende Ton verdankt seine Stellung wesentlich seinen assimilativen Beziehungen zum Einzelklang sowie der durch die koinzidierenden Teiltöne bewirkten Verstärkung der charakteristischen Klangelemente. Er ist also nicht ein für allemal durch die physischen Bedingungen der Klangerzeugung und Klangempfindung als der Grund- oder Hauptton des Klangs fest bestimmt, sondern er kann nach den Bedingungen der Konsonanz wechseln, so daß z. B., wie oben bemerkt, in dem Dreiklang *c e g* der Ton *c*, in dem andern *c es g* dagegen *g* der dominierende Ton ist. Die Eigenschaften der Tonverschmelzung im Zusammenklang werden also durch die Verhältnisse der Konsonanz bestimmt, nicht umgekehrt. In diesem Sinne ist daher nicht die Verschmelzung als solche, wohl aber die spezifische Form der Verschmelzung das Sekundäre, die Konsonanz in ihren oben angeführten metrischen und phonischen Eigenschaften das Primäre.

---

[1] Insofern die Klangfolge ein zeitliches Vorstellungsgebilde ist, liegt ihr allerdings ein Vorgang zugrunde, den man, wie wir in Kap. XV sehen werden, zu den »extensiven Verschmelzungen« rechnen kann. Dieser Vorgang hat jedoch mit jener Übertragung des Konsonanzbegriffs von dem Zusammenklang auf die Klangfolge, die hier gemeint ist, durchaus nichts zu tun.

So liegt denn auch lediglich in der Abwesenheit dieser metrischen und phonischen Eigenschaften der Gegensatz der Konsonanz, die Dissonanz, begründet. Da aber einerseits diese Eigenschaften keinem Zusammenklang ganz fehlen, und anderseits ebensowenig dieselben irgendeinem in absoluter Vollkommenheit zukommen, so gibt es überhaupt keine scharfe Grenze zwischen Konsonanz und Dissonanz. In einer gegebenen Klangverbindung kann konsonant erscheinen, was wir in einer andern als dissonant auffassen; und in der Entwickelung des musikalischen Bewußtseins hat sich, wie die Geschichte lehrt, das Gebiet dessen, was in diesem Sinne unter den geeigneten Bedingungen als konsonant gilt, in fortschreitendem Maße erweitert. Nicht minder ist die Form der Verschmelzung um so mehr ein charakteristisches Merkmal der Dissonanz, als bei der negativen Beschaffenheit dieses Begriffs sein Gebiet nicht durch bestimmte metrische und phonische Prinzipien beschränkt ist. Am meisten ist die diffuse Tonverschmelzung, sobald sie die für die Tonauffassung überhaupt erforderlichen Grenzen überschreitet, diejenige Eigenschaft, die am durchgreifendsten die Dissonanz kennzeichnet. Sie ist aber zugleich das Merkmal, das auch das Geräusch von dem Klang scheidet. Und so sind denn die Dissonanzen in der Tat im allgemeinen Übergangsglieder zwischen Klang und Geräusch. Die diffuse Natur der Dissonanz entspringt nun einerseits physiologisch aus dem Phänomen der Tonabsorption (S. 430 ff.), anderseits psychologisch aus der die distinkte Tonunterscheidung aufhebenden Zumischung mannigfach interferierender Differenztöne, ihren wechselseitigen Absorptionen und Assimilationen. Dazu bilden die Schwebungen häufige, namentlich in dem Stadium der Tonstöße den Eindruck verstärkende, aber keineswegs wesentliche Bestandteile. Denn es gibt ebensowohl Dissonanzen ohne Schwebungen, wie umgekehrt Schwebungen in konsonanten Zusammenklängen. Insofern die Dissonanz in Akkordfolgen vielfach als Bestandteil eines zusammengesetzten Tongebildes vorkommt, das von einer Konsonanz zu einer andern überleitet, wird sie nach dem treffenden Ausdruck A. VON OETTINGENs zur Bissonanz. Ein Zusammenklang, der für sich allein gehört dissonant ist, wird innerhalb der Klangfolge zu einer Verbindung, die die Bestandteile zweier Konsonanzen in sich vereinigt und eben dadurch, in der sogenannten »Auflösung der Dissonanz«, einen für unser Harmoniegefühl befriedigenden Übergang vermittelt. So ist der Zusammenklang *c e g h* für sich allein gehört eine scharfe Dissonanz; in der Akkordfolge *c e g c*, *c e g h*, *c f a*, *c e g* wird er aber zur Bissonanz, indem er den anfänglichen C-Durakkord zuerst zu seiner Umlagerung nach *f* und dann zum Stammakkord zurückführt. Unter demselben Gesichtspunkte der Einordnung in die Klangfolge kann nun aber auch der Begriff der Dissonanz, ähnlich wie der der Konsonanz, auf die

Folge der Einzelklänge übertragen werden. Einen Einzelklang, der sich einer Klangfolge in konsonanten Tonschritten nicht einfügt, nennen wir dissonant. Gerade diese Übertragungen zeigen deutlich, daß Konsonanz und Dissonanz an sich auf einem Zusammenfluß mannigfaltiger Eigenschaften beruhen. Dabei bestimmt schließlich nicht ein einzelnes Merkmal, sondern die unter dem Einfluß aller jener Eigenschaften entstehende Wirkung das Harmoniegefühl. Eben darum aber, weil es sich dabei immer um einen Zusammenfluß von Eigenschaften handelt, brauchen nicht in jedem einzelnen Fall von Konsonanz oder von Dissonanz alle gleichzeitig verwirklicht zu sein. Vielmehr ist es gerade der Wechsel der Eigenschaften, der beiden ihre mannigfachen Formen und Färbungen verleiht.

Für das Verhältnis der beiden Formen sogenannter Konsonanz, der des Zusammenklangs und der Klangfolge, ist hierbei insbesondere auch die Stellung beider in der Entwickelungsgeschichte der Musik kennzeichnend. In der Periode der homophonen Musik ist die Konsonanz der Klangfolge naturgemäß die vorherrschende. Ihr entspricht zugleich die Vorherrschaft des metrischen Prinzips, wie es in den abweichenden, jedoch überall auf eine Teilung in gleiche Tonstrecken zurückgehenden primitiven Musiksystemen sich ausspricht. Der phonische Einfluß kommt daneben allein in der Heraushebung der Oktave zur Geltung. Innerhalb dieser Vorherrschaft des metrischen Prinzips bleiben aber die Tonskalen zunächst unsicher. Nur die reproduktive Assimilation und die Objektivierung an fest abzustimmenden Toninstrumenten führt allmählich eine gewisse Fixierung herbei. Erst indem dazu auch die Stimmführung in verschiedenen Tonlagen hinzutritt, sondern sich die innerhalb der Oktave liegenden Intervalle unter der Wirkung der die Klangmassen in bestimmten Distanzen zu festeren Einheiten verbindenden Differenztöne. Damit wirkt endlich das phonische auf das metrische Prinzip zurück, und in beider Verbindung werden die phonischen Bedingungen die überwiegenden, ohne daß darum die metrischen jemals ganz verschwänden. In den hierbei fortan wirksamen Assimilationen und Verschmelzungen besteht psychologisch betrachtet der große Entwickelungsprozeß, der aus der homophonen zur polyphonen und schließlich zur harmonischen Musik hinüberführt. Die Konsonanz des Zusammenklangs wirkt in ihm fortwährend vervollkommnend auf die der Klangfolge, und diese beiden Formen der Konsonanz sind daher ebensowohl Stadien der Entwickelung wie bleibende aber zugleich charakteristische Formen der Klangvorstellungen, in deren jede teils übereinstimmende teils verschiedene elementare Faktoren eingehen. Die gesamte Entwickelung des musikalischen Bewußtseins gliedert sich so in eine Aufeinanderfolge heterogener Zweckverbindungen, in die Plan und

Willkür überall selbst erst als sekundäre Wirkungen eingreifen. Die Stimmführung in verschiedener Tonhöhe, aus den natürlichen Bedingungen der Mittel der Tonerzeugung entstanden, erzeugt die phonischen, auf direkter und indirekter Klangverwandtschaft beruhenden Wirkungen des Zusammenklangs. Dieser bestimmt dann seinerseits wieder die metrische Gliederung der durch die ursprüngliche Tonhöhenmessung nur unsicher festzuhaltenden Tonstufen; und die letzteren führen dann von selbst zu einem die Klangfolgen und die Zusammenklänge zu einem umfassenden Ganzen vereinigenden System, das schließlich naturgesetzlich und willkürlich zugleich ist: das erstere, weil es ganz und gar auf den natürlichen Bedingungen der Tongebung und Tonempfindung beruht; das letztere, insofern es in der spezifischen Richtung, die es genommen, doch deutlich genug die Spuren der geschichtlichen Einflüsse der großen Kulturvölker an sich trägt, die unser Musiksystem in der Folge der Zeiten ausgebildet haben, und die voraussichtlich fortan seine Weiterbildung bestimmen werden.

In der Geschichte der Theorien über Konsonanz und Dissonanz spiegelt sich durchaus die Entwickelung der allgemeinen Anschauungen über die Natur der Tonempfindungen. Wie man die Verhältnisse der Töne als unmittelbar gegeben ansah durch die regelmäßigen Verhältnisse der Schwingungszahlen, so wurde seit den Zeiten der Musiktheoretiker des Altertums mit dem Begriff der Tonharmonie die Idee der mathematischen Regelmäßigkeit so eng verknüpft, daß eine unmittelbare Auffassung dieser Regelmäßigkeit für selbstverständlich galt. In neueren Zeiten gewann dann diese Theorie durch die Verbindung, in die sie Leibniz mit seiner Lehre von den dunkel bewußten Perzeptionen brachte, ein neues Gepräge[1]. Ein Zählen der Schwingungen, bei dem wir uns der Zähloperation selbst nicht bewußt werden, das uns aber gleichwohl die Symmetrie und Regelmäßigkeit der Zahlverhältnisse unmittelbar empfinden lasse, — ein solches in den dunkeln Tiefen des Seelenlebens sich abspielende Geschehen schien, so hypothetisch diese Annahme bleiben mochte, immerhin die Schwierigkeiten zu beseitigen, die der naiven Auffassung der alten Harmoniker von seiten der psychologischen Beobachtung in den Weg traten. Auf der Grundlage dieser Leibnizschen Gedanken hat dann Euler diese mathematisch-metrische Theorie in der bis in die neuere Zeit maßgebenden Form entwickelt. Klänge, deren Schwingungszahlen in dem Verhältnis einfacher ganzer Zahlen stehen, erscheinen uns nach ihm deshalb harmonisch, weil, wie in der Baukunst, die Einfachheit des Verhältnisses unmittelbar gefällt. Die Auffassung einer solchen Einfachheit setzt allerdings ein Messen oder Zählen voraus. Dieses Messen und Zählen selbst erfolgt aber nur dunkel bewußt: erst sein Ergebnis, die Symmetrie der Raumformen, die Konsonanz der Intervalle, wird zur klaren Vorstellung[2]. Schon im 18. Jahrhundert traten jedoch, auf der Grundlage der kurz zuvor gemachten Entdeckung der Differenztöne, Versuche hervor, die Eigenschaften der Konsonanz auf gewisse quali-

[1] Leibniz, Principes de la nature et de la grâce, 17. (Ausg. Erdmann p. 717 f.)
[2] Euler, Nova theoria musicae. 1736, Kap. II, p. 26 f.

tative, unmittelbar in der Empfindung gegebene Klangbestandteile zurückzuführen. Der Erste, der die Anfänge einer phonischen Theorie in diesem Sinne entwickelte, war RAMEAU[1], an den sich später D'ALEMBERT anschloß[2]. Nach RAMEAU nennen wir solche Klänge harmonisch, die Bestandteile eines und desselben Grundklangs (basse fondamentale) sind. Seine Theorie gründet sich also bereits auf die Erkenntnis, daß sich auf dem Grundklang eine Reihe höherer Töne erhebt, deren Schwingungsverhältnisse der Reihe der ganzen Zahlen entsprechen[3]. Diese Ideen, die selbst noch allzusehr der physikalischen Begründung entbehrten, gewannen jedoch keinen merklichen Einfluß: die Physiker wie die Musiktheoretiker blieben im allgemeinen bei den in den akustischen Gesetzen scheinbar wohl begründeten Vorstellungen der metrischen Theorie stehen, bis HELMHOLTZ durch seine entscheidenden Untersuchungen über das Wesen der Klangfarbe und über die Kombinationstöne der Lehre von der Konsonanz und Dissonanz einen neuen Impuls gab. Indem er den Einzelklang als eine Verbindung zahlreicher Teiltöne nachwies, gewann der Begriff der Klangverwandtschaft einen klarer definierbaren Inhalt; und indem er ferner die Kombinationstöne als wichtige Bestandteile der Zusammenklänge kennen lehrte, ergaben sich die Verhältnisse dieser resultierenden Töne zueinander und zu den primären Klängen als wesentliche Merkmale für die Kennzeichnung der verschiedenen Zusammenklänge. Demzufolge betrachtete HELMHOLTZ die Schwebungen der primären Töne und der Kombinationstöne als die Ursachen der Dissonanz, das Fehlen oder relative Zurücktreten solcher Schwebungen als die der Konsonanz. Das entscheidende Moment für die sogenannte Konsonanz der Klangfolge dagegen wurde ihm die durch die Übereinstimmung bestimmter Teiltöne erzeugte Klangverwandtschaft[4]. Diese Theorie leidet augenscheinlich an dem Übelstand, daß sie nur die direkte Klangverwandtschaft berücksichtigt und so gerade die eigentliche Konsonanz nur negativ, aus dem Fehlen der störend empfundenen Tonstöße oder Schwebungen, erklärt. Dem gegenüber hat A. VON OETTINGEN das Verdienst, daß er zum ersten Male das Moment der Klangverwandtschaft in seiner übereinstimmenden Bedeutung für Zusammenklang wie Klangfolge in den Vordergrund rückte, wogegen er den Schwebungen nur noch eine untergeordnete Bedeutung zugestand. Denn er hob hervor, daß je nach der Tonlage starke Dissonanzen ohne erhebliche Schwebungen vorkommen können, und daß wir uns in der Erinnerung sogar regelmäßig die Dissonanzen ohne begleitende Tonstöße vorzustellen pflegen. So kehrte sich bei ihm das von HELMHOLTZ angenommene Verhältnis im wesentlichen um: die Konsonanz war ihm nicht mehr eine mangelnde Dissonanz, sondern diese an sich zunächst nur eine mangelnde Konsonanz, die sich freilich in der Regel auch mit der störenden Empfindung von Schwebungen und Geräuschen verbinde, in der musikalischen Akkordfolge aber, als Übergangsglied zwischen zwei andern Konsonanzen, die Bedeutung einer »Bissonanz« besitze. Auf der Grundlage dieser Anschauungen bildete VON OETTINGEN die Lehre von den Akkorden aus. Für die Durakkorde knüpfte

---

1 Nouveau système de musique. 1726.

2 Éléments de musique théorique et pratique suivant les principes de M. RAMEAU. Nouv. édit. 1766.

3 RAMEAU, a. a. O. p. 17.

4 HELMHOLTZ, Lehre von den Tonempfindungen4, S. 368, 581 ff.

er dabei wieder im wesentlichen an die Theorien von RAMEAU und D'ALEMBERT an, während er zugleich auf ihre symmetrische Ergänzung durch die Mollakkorde hinwies. Demnach faßt OETTINGEN die Töne des Durakkords als zugehörig zu einem einzigen Grundton auf, dem tonischen Grundton, die Klänge des Mollakkords als übereinstimmend in einem einzigen Oberton, dem phonischen Oberton. So ergibt sich ein doppeltes Prinzip, der Tonalität und der Phonalität, als Grundlage für den Aufbau der harmonischen Zusammenklänge. Dieses Prinzip ist von OETTINGEN in seiner Anwendung auf Akkordumlagerungen, melodische Tonfolge und Systematik der Tonarten eingehend durchgeführt worden[1]. Unter den Musikern hat sich an HELMHOLTZ und OETTINGEN hauptsächlich HUGO RIEMANN angeschlossen[2].

Unverkennbar ist es ein großer Vorzug der so zur Entwickelung gelangten phonischen Theorie, daß sie von keinerlei hypothetischen Elementen Gebrauch macht, sondern lediglich solche Bedingungen der Konsonanz voraussetzt, die sich tatsächlich als Empfindungsinhalte nachweisen lassen. Gleichwohl gibt es in dieser Theorie einen Punkt, der eine gewisse Schwierigkeit bereitet hat. Wenn die Konsonanz, namentlich bei der Klangfolge, durch übereinstimmende Obertöne entsteht, so scheint dem zu widersprechen, daß auch einfache, obertonfreie Klänge konsonant sein können. Demnach hat man hier auf doppelte Weise abzuhelfen gesucht. Entweder wurde diese Konsonanz einfacher Töne in der Tat als eine unvollkommenere angesehen, die im Grunde erst durch die Assoziation mit obertonreichen Klängen zustande komme. Oder man nahm an, absolut obertonfreie Klänge gebe es überhaupt nicht, sondern, wo solche objektiv existieren sollten, da entstünden im Ohr infolge der Eigenschaften des Resonanzapparates subjektive Obertöne. Der ersten dieser Annahmen neigte HELMHOLTZ zu: er meinte, daß Tonfolgen obertonfreier Klänge in der Tat »leer«, weniger konsonant seien, und daß dabei außerdem das »Sinnengedächtnis«, d. h. eben die Assoziation mit obertonreichen Klängen, eine gewisse Rolle spiele[3]. Dieser Ansicht, daß die Konsonanz einfacher Töne eine wesentlich geringere sei, wird man aber doch kaum beipflichten können. Bei unbefangener Auffassung wird man vielmehr nur sagen können, daß sie in mancher Beziehung eine andere, daß sie aber selbst bei der bloßen Klangfolge eine sehr wirksame Form der Konsonanz sei. Hier spielt eben das oben berührte Moment eine Rolle, daß Konsonanz kein absolut einheitlicher Begriff ist. Vollends dem Gedächtnis wird man einen Einfluß, wie er hier angenommen wurde, unmöglich zuschreiben können. Abgesehen davon, daß sich von einer solchen Wirksamkeit desselben im vorliegenden Fall nicht das geringste nachweisen läßt, scheint eben jener eigenartige Eindruck, den konsonante Intervalle in reinen Tönen hervorbringen, eine spezifische Form musikalischer Schönheit zu sein, die gerade auf der Abwesenheit der Partialtöne beruht, die man hier als Gedächtnishilfen herbeiziehen möchte. Überdies, da in dem Reichtum und in der Stärke der Obertöne musikalischer Instrumente so überaus mannigfache Unterschiede vorkommen, an welchen dieser obertonreichen Klänge sollte eine solche Assoziation anknüpfen? Hier verhält es sich

[1] A. VON OETTINGEN, Harmoniesystem in dualer Entwickelung. 1866.

[2] H. RIEMANN, Musikalische Logik. Musikalische Syntaxis. 1877. Allgemeine Musiklehre[2]. 1897. Elemente der musikalischen Ästhetik. 1900.

[3] Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 468.

doch wesentlich anders als mit jenen assoziativen Einflüssen, die, wie oben erwähnt, zweifellos Klangfolge und Zusammenklang aufeinander ausüben. Wenn z. B. in einem Zusammenklang das Sextenintervall dominiert und dann in einer Klangfolge die Sext einen jenem Zusammenklang verwandten Eindruck macht, so ist das zunächst ein reiner Gefühlseffekt, der aber in einem völlig eindeutigen Verhältnis der Vorstellungselemente und in der auf Grund desselben entstehenden Assoziation seine Grundlage hat. Diese Form assoziativer Beziehung der Vorstellungen begegnet uns in der Tat fortwährend in den verschiedensten Gestaltungen, während ein Analogon zu jener Gedächtniswirkung eines zusammengesetzten auf einen einfachen Einzelklang schwerlich aufzufinden wäre. Schon HELMHOLTZ hat übrigens neben dieser ersten noch eine zweite Hypothese angedeutet, die möglicherweise die Konsonanz einfacher Töne auf Grund der Klangverwandtschaft erklären könne. Er meinte, vermöge der Konstruktion des Gehörorgans würden bei allen s t a r k e n objektiven Tönen im Ohre selbst subjektive Obertöne entstehen, indem mit den Teilen des Resonanzapparates, die auf den einwirkenden Ton direkt abgestimmt sind, auch solche in Mitschwingungen geraten könnten, die auf die entsprechenden Obertöne reagieren. Entschiedener noch als HELMHOLTZ hat dann MACH diese Hypothese der subjektiven Obertöne vertreten und dabei die Entstehung der letzteren sogar als eine ausgemachte Tatsache angesehen[1]. Nun läßt sich allerdings, wie schon oben bemerkt wurde (S. 144), die physikalische Möglichkeit solcher subjektiver Obertöne nicht bestreiten. Aber nicht minder gewiß ist es, daß in vielen Fällen teils unmittelbar teils unter Zuhilfenahme der Auslöschung von Teiltönen mittels der Interferenzapparate (S. 109) wirklich einfache Töne gehört werden können, d. h. solche, in denen das O h r keine Spur von Obertönen mehr wahrnimmt, und daß gerade solche Töne die eigenartige Konsonanz reiner Töne in besonders ausgeprägter Weise zeigen. Jene hypothetischen Obertöne gehören also, geradeso wie die »Untertöne«, die RIEMANN in den Einzelklängen als Äquivalente der Differenztöne zu hören glaubte, jedenfalls nicht zu den tatsächlichen Bestandteilen des Klangs. Doch, um die Konsonanz der Klangfolge zu erklären, dazu scheinen auch diese hypothetischen Elemente nicht erforderlich. Denn je mehr die phonischen Elemente der Konsonanz zurücktreten, um so deutlicher, weil unvermischter, machen sich die m e t r i s c h e n Einflüsse geltend, die den konsonanten Intervallen vor allem bei der Klangfolge einen entschiedenen Vorzug verleihen. Indem dann zu ihnen noch jene wirklich nachweisbaren Assoziationen der sukzessiven zu den entsprechenden simultanen Intervallverbindungen hinzukommen, findet darin einerseits die Eigenart der Konsonanz von Klangfolgen einfacher Töne, anderseits aber auch die Beziehung, in die sie zu den andern Formen der Konsonanz, vor allem zu denen der Akkorde tritt, ihre vollkommen zureichende, nirgends den Boden des tatsächlich Gegebenen überschreitende Erklärung.

Die Notwendigkeit, neben den phonischen Prinzipien der Konsonanz oder, wie er meint, sogar an Stelle derselben metrische Verhältnisse anzunehmen, hat in neuerer Zeit besonders energisch auch TH. LIPPS betont[2]. Doch glaubt

---

[1] MACH, Wiener Sitzungsber. 2. Abt. Bd. 92, 1885. S. 1283.

[2] TH. LIPPS, Grundtatsachen des Seelenlebens. 1883, S. 238 ff. Psychologische Studien. 1885, S. 92 ff. 2. Aufl. 1905, S. 115 ff. Zur Theorie der Melodie. Zeitschr. für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 225 ff.

er zu diesem Zweck zu der älteren, hypothetischen Form der metrischen Theorie in dem Sinne zurückkehren zu sollen, daß er zwar die Vorstellung eines unbewußten Zählens der Schwingungsverhältnisse aufgibt, dafür aber auf die Bedeutung rhythmischer Eindrücke hinweist, die sich, wie im Bewußtsein in der Bevorzugung regelmäßiger Gliederungen der Zeit, so unter der Schwelle des Bewußtseins in dem konsonanten Eindruck von Tönen, die in einem einfachen Schwingungsverhältnisse stehen, verrate. Konsonanz ist ihm also unbewußte Rhythmik, und er weist darauf hin, daß, wie bei dem eigentlichen Rhythmus, so auch bei der Konsonanz die Zweiteilung das vor andern bevorzugte Verhältnis sei. Für so berechtigt ich nun, wie aus den obigen Erörterungen hervorgeht, die Geltendmachung des metrischen Prinzips an sich halte, so wenig kann ich dieser Verlegung seiner Geltung auf das hypothetische Gebiet des Unbewußten zustimmen. Auch hier gilt, was hinsichtlich der analogen Erklärung der Klangfarbe gesagt wurde, daß die Elemente der Klangvorstellungen genau nur insoweit und so lange in der unmittelbaren Konstitution derselben wirksam bleiben, als sie zugleich Bewußtseinselemente sind (S. 126 f.). Speziell bei dem Konsonansproblem auf eine unbewußte Rhythmik zurückzugreifen, scheint mir aber um so weniger gerechtfertigt, als hier die Tatsache, daß wir unmittelbar eine Empfindung in einfache Teile gliedern und dabei insbesondere die Zweiteilung bevorzugen, eine wirkliche Bewußtseinstatsache ist, die sich experimentell exakt nachweisen läßt. Diesem tatsächlichen Moment ein hypothetisches, sich jeder Nachweisung entziehendes zu substituieren, dazu dürfte kein Grund vorliegen. Denn wenn zur Erklärung einer und derselben Erscheinung eine Reihe direkt beobachteter Tatsachen und eine Reihe von Hypothesen einander gegenüberstehen, so sind, wie ich meine, unter allen Umständen die Tatsachen den Hypothesen vorzuziehen. Allerdings erklärt das metrische Prinzip in dieser empirisch nachweisbaren Bedeutung nicht die ganze Konsonanz, sondern nur eine Seite derselben; ja der Schwerpunkt, besonders für das Verständnis der Wirkungen der einzelnen Klangfolgen und Zusammenklänge, liegt sogar nach der qualitativen, der phonischen Seite. Aber diese Vielgestaltigkeit der Bedingungen, die doch auf das engste zusammenhängen und ineinander eingreifen, und von denen bald die einen bald die andern mehr hervortreten können, liegt gerade bei einer so zusammengesetzten Erscheinung viel näher, als eine willkürlich angenommene oder durch unbeweisbare Hypothesen erzwungene Uniformität. In der Tat scheint mir auch bei LIPPS dieses Vorurteil, der einheitliche Begriff der Konsonanz gestatte nur eine einzige Ursache, darin hervorzutreten, daß er da, wo die Verhältnisse der Klangverwandtschaft zu unmittelbar empirisch nachweisbaren Bedingungen werden, nun diese ebenfalls auf jene rein hypothetischen Elemente zurückführt, wodurch sich dann allerdings die Hypothesen uniform gestalten. Die von LIPPS entwickelte Theorie zerfällt daher in zwei Bestandteile, in deren einem die unbewußte Rhythmik ein hypothetischer Ausdruck ist für die tatsächlich gegebene metrische Gliederung der Empfindungsstrecken, und in deren anderem dieselben hypothetischen Elemente verwendet werden, um sie den phonischen Tatsachen der Empfindungsanalyse zu substituieren [1].

---

[1] Ähnlich verhält es sich mit den ebenfalls im Sinne einer rein metrischen und, wenn nicht ausdrücklich, so doch stillschweigend auf das Gebiet des »Unbewußten« zurück-

Von den Grundgedanken sowohl der phonischen wie der metrischen Theorie entfernt sich diejenige Auffassung, die C. STUMPF entwickelt und als »Verschmelzungstheorie« bezeichnet hat[1]. Bei ihm steht ebenfalls die Überzeugung im Vordergrund, daß, wie der Name der Konsonanz ein einziger ist, so auch das Wesen dieser Erscheinung ein durchaus einheitliches sein müsse, das zwar Grade, aber keine qualitativen Abweichungen zulasse. Dies erhellt deutlich aus seiner Kritik anderer Theorien, die regelmäßig darauf hinausläuft, daß das geltend gemachte Moment mehr oder weniger bei der Konsonanz mitwirken, daß es aber auch gelegentlich fehlen könne, und daß daher »die Konsonanz« notwendig etwas anderes sein müsse[2]. Dabei steht zugleich diese Kritik anderer Theorien im allgemeinen unter der Voraussetzung, daß jede Assoziation ein reflektierender Erinnerungsvorgang, und jede Maßbeziehung von Tönen ein Abzählen von Schwingungen sei. STUMPF selbst hält demnach den Begriff der »Verschmelzung« für die Lösung des Rätsels, wobei er unter diesem Namen keinen bestimmt definierten Vorgang, sondern lediglich alle die Erscheinungen versteht, bei denen irgendwelche simultane oder auch sukzessive psychische Vorgänge eine mehr oder minder feste oder lose Einheit bilden. Konsonanz ist ihm also »Tonverschmelzung«, und den Grad der Konsonanz bestimmt die Festigkeit dieser Verschmelzung, die sich nach der Neigung, einen Zusammenklang mit einem Einzelklang zu verwechseln, wie es namentlich unmusikalischen Personen und Kindern begegnet, ermessen lasse. Daß dieser Begriff der Verschmelzung im Widerspruch steht sowohl mit den tatsächlichen Bedingungen wie mit den unmittelbaren Urteilen über Konsonanz und Dissonanz, wurde oben schon dargelegt (S. 125 f.). Auch wird derselbe ebenso wie das zu seiner Bestimmung dienende Maßverfahren von STUMPF selbst nicht festgehalten, da er schließlich auch der Klangfolge eine Konsonanz zuschreibt, zu deren Erklärung er dann die unmittelbare Erinnerung an den vorangegangenen Eindruck und die angebliche Verschmelzung dieses Erinnerungsbildes mit dem neuen Eindruck zu Hilfe ruft[3]. Der Hauptmangel dieser »Verschmelzungstheorie« liegt, abgesehen von den früher schon geltend gemachten Momenten, darin, daß sie die auf Grund der Tatsachen der Klangzerlegung psychologisch wohl analysierbaren Phänomene der Konsonanz und Dissonanz auf einen von ihr durchaus nicht analysierten Begriff, also im Grunde genommen auf ein bloßes Wort zurückführt, in welchem dann unterschiedslos alle möglichen Verbindungsprozesse, insbesondere auch die durch sehr bestimmte Merkmale gegen die Verschmelzung abzugrenzenden der direkten und der reproduktiven Assimilation, zusammengeworfen werden.

Im Gegensatz zu diesen einseitig auf einen einzigen mehr oder minder problematischen Begriff ausgehenden Konsonanztheorien hat schließlich FELIX KRUEGER die Vielheit der Momente betont, die bei einem so vielgestaltigen Phänomen, wie es die Konsonanz ist, zusammenwirken können, und die ins-

---

greifenden Spekulationen von M. MEYER über die Theorie der Melodie (Contributions to a psychological Theory of Music, University of Missouri Studies, 1901). Zur Kritik dieser MEYERschen Theorie vgl. übrigens LIPPS, Zeitschr. für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 235 ff.

[1] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2. Konsonanz und Dissonanz, Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft, Heft 1, 1898. Vgl. dazu die kritischen Ausführungen von F. KRUEGER, Psychol. Stud. I, S. 313 ff. II, S. 206 ff. IV, S. 201 ff.

[2] Konsonanz und Dissonanz, Kap. 1—3.

[3] STUMPF, Konsonanz und Dissonanz, S. 55 ff.

besondere auch dazu nötigen, die Konsonanz des Zusammenklangs von der der Klangfolge zu scheiden. Auf Grund seiner Studien über Zweiklänge betrachtet KRUEGER vielmehr die Differenztöne als das zentrale Phänomen der Konsonanz, um das sich dann die übrigen auf Grund der von ihnen ausgehenden Vorgänge der Assimilation und der Verschmelzung gruppieren. Wie die Konzonanz selbst ein vielgestaltiger Vorgang ist, so lasse sich demnach eine absolute Grenze zwischen ihr und der Dissonanz nicht ziehen; und nicht minder widerspricht, wie er hervorhebt, dieser fließende Charakter der Erscheinungen dem Versuch, sie durch Reduktion auf einen einzigen Allgemeinbegriff gewissermaßen in ein selbständiges dinghaftes Wesen zu verwandeln[1].

Daß es sich übrigens bei allen Erwägungen über die physiologischen und psychologischen Bedingungen der Konsonanz, wie sie oben angestellt worden sind, lediglich um die Gewinnung elementarer Grundlagen der musikalischen Wirkung, nicht aber um eine Analyse der zusammengesetzten ästhetischen Eigenschaften des musikalischen Kunstwerks handelt, sollte eigentlich für ebenso selbstverständlich gelten, wie die Forderung, daß die Musikästhetik, wenn sie nicht fortan in dem Bannkreis der spekulativen Ästhetik vergangener Zeiten verbleiben will, eben an jenen elementaren Tatsachen der Psychologie der Gehörsvorstellungen nicht achtlos vorbeigehen darf. Die meisten Musikästhetiker scheinen leider zu einer solchen richtigen Würdigung der Bedeutung und zugleich der Grenzen der psychophysischen Aufgaben auf diesem Gebiete wenig geneigt zu sein. Sie halten die physiologische und psychologische Analyse der Klangwirkungen für eine Art Entweihung des hehren musikalischen Kunstwerks und übersehen, daß schwerlich jemals jemand daran gedacht hat, aus Klangverwandtschaft, Differenztönen, Schwebungen und ähnlichem etwa die Wirkungen der »Symphonia eroica« ableiten zu wollen[2]. Es scheint eben unter den Musikästhetikern wie unter den Philosophen überhaupt immer noch solche zu geben, die zwar wissen, daß man im praktischen Leben ein Haus nicht bei dem Dach zu bauen anfängt, die aber diese Methode bei psychologischen und ganz besonders bei ästhetischen Aufgaben für die vortrefflichste halten.

---

[1] F. KRUEGER, Archiv für die ges. Psychol. I, 1903, S. 205 ff. II, S. 1 ff. Psychol. Stud. I, 1906, S. 305 ff.

[2] Man vergleiche z. B. das nicht ohne physiologische Einzelkenntnisse geschriebene Buch von PAUL MOOS, Moderne Musikästhetik in Deutschland, 1902, das auch eine gute Übersicht der Geschichte der philosophischen Musikästhetik enthält, das aber durchgängig an jenem Mißverständnisse leidet.

Dreizehntes Kapitel.

Räumliche Tastvorstellungen.

1. Lokalisation der Tastempfindungen.

a. Die Raumschwelle des Tastsinns.

Die Druck- und Temperaturempfindungen unserer Haut beziehen wir auf den Ort, der vom Reize getroffen wird; ebenso die dem Tastsinn verwandten Empfindungen der inneren Teile. Die Genauigkeit dieser Lokalisation ist außerordentlich verschieden. Sie ist am unvollkommensten bei den Gemeinempfindungen, und wahrscheinlich wird hier die Ortsvorstellung erst durch die zeitweise Verbindung mit Tastempfindungen eine etwas bestimmtere. Einer messenden Vergleichung sind jedoch in dieser Beziehung nur die verschiedenen Provinzen der Hautoberfläche zugänglich. Die nächstliegende Methode, um hier die Genauigkeit der örtlichen Auffassung zu prüfen, besteht darin, daß man eine Hautstelle berührt und dann aus der bloßen Tastempfindung, also unter Ausschluß des Gesichtssinns, durch Nachtasten die vorher berührte Stelle aufsuchen läßt[1]. Hierbei wird im allgemeinen ein Fehler begangen, der sich, sobald man eine größere Zahl von Beobachtungen verwendet, bei jeder Hautstelle einem bestimmten Werte nähert, für die verschiedenen Stellen aber außerordentlich wechselt. Die Feinheit der Lokalisation wird man daher der Größe dieses Fehlers umgekehrt proportional setzen können. Dies Verfahren entspricht demnach einigermaßen der Methode der mittleren Fehler bei der Intensitätsmessung[2]. Im vorliegenden Fall führt es aber unmittelbar zu einer kürzeren Methode, die der Methode der Minimaländerungen analog ist. Führt man nämlich an sich selbst die Beobachtungen aus, so gestaltet sich der obige Versuch ohne weiteres in der Weise, daß man rasch nacheinander zwei benachbarte Punkte der Haut berührt und nun diejenige Grenze aufsucht, bei der die beiden Berührungen zuerst auf zwei Orte bezogen werden. Nach der gleichen Methode kann man dann natürlich auch bei andern Personen Versuche ausführen, indem man etwa die beiden Branchen eines Zirkels rasch nacheinander mit möglichst gleichförmigem Druck auf eine Hautstelle aufsetzt. Den Grenzwert, bei welchem die beiden Eindrücke eben als lokal verschiedene aufgefaßt werden, nennt man die Raumschwelle für sukzessive Reize oder abkürzend die Sukzessivschwelle des Tastsinns.

---

[1] E. H. Weber, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1852, S. 87.
[2] Vgl. Bd. 1, S. 595.

Die Bestimmung dieser Sukzessivschwelle, obgleich sie die einfachste Methode zur Bestimmung der Lokalisationsschärfe zu sein scheint, leidet nun aber an erheblichen Übelständen. Teils ist es schwierig, immer genau die gleiche Geschwindigkeit der Sukzession, und noch mehr bei dieser immer den gleichen Grad der Aufmerksamkeit festzuhalten; teils können sehr leicht Unterschiede in der Stärke des ausgeübten Druckes eintreten. Diese unbeabsichtigte Variation der Bedingungen findet denn auch in den großen Schwankungen der Sukzessivschwelle, soweit Bestimmungen derselben überhaupt versucht worden sind, ihren Ausdruck[1]. Im allgemeinen ist daher die Methode zugunsten derjenigen verlassen worden, deren sich E. H. WEBER, der sie zuerst anwandte, selbst schon vor ihr bedient hatte. Sie besteht darin, daß man zwei Zirkelspitzen nicht sukzessiv, sondern gleichzeitig auf die zu untersuchende Hautstelle aufsetzt: man gewinnt so die Raumschwelle für simultane Reize oder, abgekürzt ausgedrückt, die Simultanschwelle des Tastsinnes[2]. Die Werte dieser Simultanschwelle sind durchweg erheblich größer als die der Sukzessivschwelle; aber sie sind zugleich sehr viel konstanter, was, zusammengenommen mit der größeren Einfachheit der Methode, deren Bevorzugung als eines allgemeinen Maßes der Lokalisationsschärfe, ihrer Verschiedenheiten und Veränderungen unter verschiedenen Bedingungen rechtfertigt. Überträgt man die bei der Empfindungsmessung gebrauchten Ausdrücke auch auf die in der Raum- oder Zeitform zu Vorstellungen geordneten Empfindungen, so kann man nun allgemein jenen Grenzwert, der die kleinste eben wahrnehmbare Raum- oder Zeitentfernung mißt, als extensive Schwelle bezeichnen, im Gegensatz zur intensiven Schwelle, welche die eben unterscheidbare Intensität der Empfindung bestimmt. Die extensive Schwelle selbst können wir dann aber wieder unterscheiden in die Raumschwelle, um die es sich hier handelt, und in die Zeitschwelle, auf deren Betrachtung wir später (Kap. XV) eingehen werden[3].

Zur Bestimmung der so definierten Simultanschwelle des Tastsinns bedient man sich nach dem Vorbilde WEBERs entweder eines gewöhnlichen Zirkels mit etwas abgestumpften Spitzen oder besser eines Stangenzirkels, wie er auch sonst zu Längenmessungen angewandt wird, mit an einer Millimeterskala verschiebbaren Branchen. Man beginnt mit einer Distanz,

[1] Vgl. namentlich CZERMAK, Sitzungsber. der Wiener Akademie, 3, Bd. 15, 1855, S. 474 ff. KOTTENKAMP und ULLRICH (Versuche unter VIERORDTs Leitung), Zeitschrift für Biologie, Bd. 6, 1870, S. 45 f. JUDD, Philos. Stud. Bd. 12, 1896, S. 409 ff. TAWNEY and HODGE, Psych. Rev. vol. 5, 1898, p. 286. VON FREY und METZNER, Zeitschr. für Psychol. Bd. 29, 1902, S. 161.

[2] Annotationes anatomicae et physiologicae. 1834 (1829), p. 44 f. Art. Tastsinn und Gemeingefühl WAGNERS Handwörterbuch der Physiologie, Bd. 3, 2, S. 524 ff.

[3] Der Ausdruck extensive Schwelle rührt von FECHNER her, der ihn aber auf den Begriff der Raumschwelle beschränkt hat (Elemente der Psychophysik, Bd. 1, S. 52, 267 f.).

die unter der Schwelle liegt, und bei der demnach die beiden Spitzen als ein einziger punktförmiger Eindruck aufgefaßt werden. Dann vergrößert man die Distanz in sukzessiven Versuchen, bis die Grenze erreicht ist, wo die Eindrücke deutlich als zwei erscheinen. Auch hier läßt sich aber, ähnlich wie bei den sonstigen Anwendungen der Methode der Minimaländerungen, der umgekehrte Weg, von über der Schwelle liegenden Distanzen beginnend, einschlagen, so daß sich schließlich die definitive Raumschwelle aus mehreren Probeversuchen als der zwischen der untermerklichen und der übermerklichen räumlichen Unterscheidung der Eindrücke in der Mitte liegende Grenzwert ergibt. Die Größe dieses Grenzwertes variiert nach den Messungen WEBERs je nach der Hautstelle zwischen 1 und 68 Millimetern. Wählt man feinere Spitzen zur Berührung, so kann aber die Distanz unter diese Werte herabgehen, namentlich wenn die durch feinere Empfindlichkeit ausgezeichneten Druckpunkte (S. 15) getroffen werden. Am feinsten ist die Unterscheidung an der Zungenspitze und an der Volarfläche der vordersten Fingerglieder, erheblich gröber an den übrigen Teilen der Hand, dem Gesichte, den Zehen usw., am ungenauesten an Brust und Bauch, Rücken, Oberarm und Oberschenkel. Hat man die Grenze, wo die zwei gleichzeitig aufgesetzten Spitzen unterschieden werden, nahezu erreicht, so wird zwar noch kein doppelter Eindruck wahrgenommen, aber man bemerkt zuweilen schon deutlich, in welcher Richtung, ob z. B. longitudinal oder transversal, die beiden Spitzen aufgesetzt sind, indem man von der Ausdehnung des Eindrucks eine gewisse Vorstellung hat.

Ebenso wie die Druckreize werden auch die Temperatur- und Schmerzreize lokalisiert und, wenn sie auf zureichend entfernte Hautstellen einwirken, räumlich unterschieden. Doch finden sich dabei, namentlich bei den Schmerzreizen, im allgemeinen größere Raumschwellen als bei den Druckreizen, ein Unterschied, der wohl mit der weiteren Irradiation dieser Empfindungen zusammenhängt. Feiner wird übrigens auch hier die Unterscheidung bei der direkten Einwirkung auf die Temperaturpunkte, insbesondere auf die durch ihre ohnehin größere Empfindlichkeit ausgezeichneten Kältepunkte.

Bei allen diesen Versuchen stellen sich nun zwei für die Deutung der Erscheinungen höchst bemerkenswerte Tatsachen heraus. Erstens ist die Lokalisation unabhängig von der Raumunterscheidung. In Hautgebieten, die völlig anästhetisch, deren unter der Haut liegende Nerven aber noch erregbar sind, wird ein tiefer eindringender Druck noch deutlich lokalisiert, aber eine räumliche Unterscheidung zweier Eindrücke ist nicht möglich: die Lokalisation kann also schon durch die sensibeln Nerven vermittelt werden; die Raumunterscheidung bedarf der besonderen

Bedingungen, die deren Ausbreitung in der äußeren Haut begleiten[1]. Zweitens sind Schärfe der lokalen Unterscheidung und Auffassung der Entfernung zweier Eindrücke im allgemeinen voneinander unabhängige Vorgänge. Während die erstere, wie angegeben, an den verschiedenen Hautregionen etwa im Verhältnis von 1 : 68 variiert, zeigt die letztere, sobald die Raumschwelle erreicht ist, durchaus keine parallel gehenden Unterschiede, wenn auch die absolute Distanzschätzung an den Stellen mit kleinerer Raumschwelle genauer ist als an denen mit großer. Nachdem z. B. der Schwellenwert von 68 mm an Rücken oder Oberschenkel überschritten ist, nimmt man sofort den Zwischenraum zwischen den zwei Eindrücken als einen sehr großen wahr, wogegen man ihn an der Finger- oder Zungenspitze jenseits der Grenze von 1—2 mm als einen sehr kleinen auffaßt: beidemal wächst die Vorstellung der Entfernung mit der wirklichen Entfernung, nur daß sie an den Hautstellen mit größerer Raumschwelle ungenauer und darum variabler ist als an denen mit kleiner. Von diesem Verhalten gibt es nur eine einzige Ausnahme, die von E. H. WEBER schon bei seinen ersten Bestimmungen der Raumschwellen verschiedener Hautteile entdeckt wurde. Wenn man nämlich bei dem WEBERschen Versuch die beiden Zirkelspitzen in einer etwas über der Schwelle liegenden Distanz rasch und kontinuierlich von einer Hautstelle mit größerem zu einer mit ihr zusammenhängenden mit kleinerem Schwellenwert, z. B. von der Wange nach dem Munde oder vom Vorderarm nach der Hand hin, bewegt, so scheinen die Zirkelspitzen etwas auseinanderzuweichen und bei der umgekehrten Bewegung sich zu nähern[2]. Diese Erscheinung tritt aber schon dann nicht mehr ein, wenn man die gleichen Bewegungen langsam ausführt; und ebenso ist sie bei der Ausführung gesonderter Tastversuche an den einzelnen Hautstellen nicht zu bemerken. Offenbar handelt es sich also hier um ein Phänomen, das von dem raschen Wechsel in der Deutlichkeit der Wahrnehmung des Zwischenraums zwischen den Eindrücken abhängt.

Wesentlich anders als die Simultan- verhält sich endlich die Sukzessivschwelle des Tastsinns. Unter ihr versteht man die Distanz, in der zwei rasch nacheinander auf die Haut einwirkende annähernd punktuelle Druckreize eben noch unterschieden werden. Sie ist, wie schon WEBER fand, im allgemeinen kleiner als die Simultanschwelle, und sie zeichnet sich, wie JUDD in länger durchgeführten Versuchen feststellte, überdies dadurch aus, daß sie auch bei längerer Übung unverändert bleibt, während die

[1] HEAD, RIVERS and SHERREN, Brain, vol. 27, 1905, p. 99 ff., 116 ff.
[2] E. H. WEBER, Annotat. anatom. De subtilitate tactus, p. 59.

Simultanschwelle infolge der Übung stark abnimmt und so schließlich gegen jenen Wert der Sukzessivschwelle zu konvergieren scheint[1].

E. H. Weber geriet auf die Idee seiner »Zirkelversuche« zur Bestimmung des von ihm sogenannten »Ortssinnes« der Haut, indem er eine von den Astronomen zuerst angewandte Methode zur Bestimmung der Sehschärfe des Auges, die Messung der Distanz, in die sich der Sehende von zwei parallel ausgespannten Fäden begeben muß, wenn diese eben noch als getrennte wahrnehmbar sein sollen, mutatis mutandis auf das Tastorgan übertrug. Das einfache Verfahren, das Weber schon in seiner ersten Abhandlung über den Tastsinn vom Jahre 1830 beschrieben hat, ist dann im wesentlichen bis zum heutigen Tage beibehalten worden[2]. Man bedient sich eines Stangenzirkels mit abgestumpften oder, wie es Weber schon vorschlug, in eine nicht-metallische Substanz (Kork oder Holz) übergehenden Branchen, die an einer Millimeterskala verschiebbar und durch Schrauben festzustellen sind. Einen speziell zu Tastversuchen eingerichteten Stangenzirkel dieser Art hat H. Griesbach beschrieben, der sich aber durch sein beträchtliches Gewicht nicht gerade vorteilhaft auszeichnet[3]. Denn je schwerer das Instrument ist, um so leichter können sich die beiden Hauptfehler solcher aus freier Hand vorgenommener Druckversuche, ein ungleichzeitiges oder ein ungleich starkes Aufsetzen der Zirkelspitzen, geltend machen. Bei ungleichzeitigem Aufsetzen verringert sich aber die Schwelle, weil sie aus der simultanen in die sukzessive übergeht; und bei Verstärkung des Drucks nimmt sie zuerst ab und dann von einer gewissen Grenze an wegen der Irradiation der Reizung wieder zu. Nicht minder verringert sie sich, wenn man sich feinerer Zirkelspitzen bedient, vorausgesetzt nur, daß man Schmerzerregungen vermeidet. Gleichwohl würde es wegen der sonstigen Schwierigkeiten in diesem Fall kaum zweckmäßig sein, Apparate mit instrumenteller Ausgleichung der erwähnten Fehler anzuwenden. Die sorgfältige Einübung des Experimentators in der Handhabung des Instrumentes wird daher immer die Hauptsache bleiben, und diese ist in diesem Fall um so leichter möglich, je einfacher das Instrument ist. Mit Rücksicht auf den Vorzug, den namentlich die Leichtigkeit der Druckapparate beanspruchen darf, empfiehlt sich darum auch das von Vierordt und seinen Schülern angewandte einfachste Verfahren mit einer Serie fester Distanzen. Es besteht darin, daß man einen Satz von Brettchen herstellt, deren jedes zwei abgestumpfte Spitzen in genau gemessenem, konstant bleibendem Abstand und mit sorgfältig nivellierten Enden enthält. Richtet man diesen Satz so ein, daß er einer großen Zahl fein abgestufter Distanzen entspricht, so ist er, namentlich an den Stellen mit kleinerer Raumschwelle, zu der Methode der Minimaländerungen verwendbar, die wegen der unmittelbaren Schwellenbestimmung, die sie zuläßt, auch hier den Vorzug verdient. Bei den so auszu-

---

[1] Ch. H. Judd, Philos. Stud. Bd. 12, 1896, S. 409 ff. von Frey und Metzner, Zeitschr. für Psychologie, Bd. 29, 1902, S. 161 ff. Als das günstigste Zeitintervall der Sukzessivschwelle ergab sich in den Versuchen der letzteren Beobachter der Wert von 4/3 Sek.

[2] Annotationes anatom. et physiol. De subtilitate tactus, p. 46.

[3] H. Griesbach, Archiv für Hygiene, Bd. 24, 1895, S. 124 ff. Ein ähnliches, noch etwas komplizierter konstruiertes Ästhesiometer hat A. Binet beschrieben (Année psychol., t. 7, 1901, p. 231).

führenden Versuchen ist dann aber außerdem im allgemeinen die Bestimmung der Simultanschwelle der der Sukzessivschwelle vorzuziehen, weil bei ihr die Einflüsse der Ermüdung und Übung, der Anästhesie und Hyperästhesie der Haut, des Alters usw., endlich die Beziehungen zur Auffassung der räumlichen Distanz schärfer hervortreten. Namentlich also, wo die Tastschwelle als symptomatisches Hilfsmittel für irgend welche psychophysische oder psychische Zustände Verwendung findet, wird man sich unbedingt der Simultanschwelle bedienen. Inwieweit sie überhaupt als ein solches Hilfsmittel brauchbar sei, ist freilich zweifelhaft. Auch ist natürlich nie zu vergessen, daß die Abweichung der Schwelle ein mehrdeutiges Symptom ist: sie kann z. B. ebensowohl unter dem Einfluß der veränderten Hautempfindlichkeit wie der Aufmerksamkeitsschwankungen wie insbesondere auch der lokalen Verhältnisse der spezifischen Druckpunkte variieren. Eine irgend regelmäßige Beziehung zu psychischen Zuständen, insbesondere zu der Ermüdbarkeit durch geistige Arbeit, wie sie von GRIESBACH angenommen wurde, scheint sich daher nach den sorgfältigen Versuchen BOLTONS überhaupt nicht zu bestätigen[1].

Wir lassen nun zunächst einen Auszug aus der von WEBER nach seinen Versuchen mitgeteilten Tabelle über die Größe der Simultanschwelle hier folgen. Die Zahlen bezeichnen die Distanzen zweier Zirkelspitzen, die eben unterschieden wurden, in Millimetern[2]:

Zungenspitze	1
Volarseite des letzten Fingerglieds	2
Roter Rand der Lippen	5
Volarseite des zweiten, Dorsalseite des dritten Fingerglieds	7
Nicht roter Teil der Lippen, Metacarpus des Daumens	9
Wange, Plantarseite des letzten Glieds der großen Zehe	11
Rückenseite des ersten Fingerglieds, Plantarseite des Mittelfußknochens der großen Zehe	16
Haut am hinteren Teil des Jochbeins, Stirn	23
Handrücken	31
Kniescheibe und Umgegend	36
Kreuzbein, oberer und unterer Teil des Unterschenkels	40
Fußrücken. Nacken, Lenden- und untere Brustgegend	54
Mitte des Rückens, Mitte des Oberarms und Oberschenkels	68

Bei der Anwendung feinerer Spitzen zur Berührung, namentlich aber bei der Auswahl nicht der durchschnittlichen Werte, sondern der Minimalwerte aus einer größeren Zahl von Versuchen, erhält man freilich sehr viel kleinere Distanzen. So fand GOLDSCHEIDER folgende Minimalwerte, ebenfalls in Millimetern[3]:

---

[1] GRIESBACH, Internat. Archiv für Schulhygiene, Bd. 1, 1905, S. 317 ff. BOLTON, KRAEPELINS Psychol. Arbeiten, Bd. 4, 1904, S. 175 ff. Dazu den Bericht SPEARMANS im Arch. für die ges. Psychol. Bd. 8, 1906, S. 16 ff.

[2] E. H. WEBER, Annotationes anatom., p. 50 f. Art. Tastsinn, S. 539. Von WEBER sind die Resultate in Pariser Linien mitgeteilt: sie sind oben in Millimeter umgerechnet und, wie bei WEBER, abgerundet. Eine von MARILLIER und PHILIPPS vorgenommene Vervollständigung der WEBERschen Topographie ergab, wohl infolge der längeren Versuchsübung, zumeist ein wenig kleinere, im ganzen aber übereinstimmende Werte (Journal de Physiol. t. 5, 1903, p. 65 ff.).

[3] GOLDSCHEIDER, Archiv für Physiologie, 1885, Suppl. S. 84 ff. Ges. Abh. Bd. 1, S. 194 ff.

Oberfläche des Nagelglieds	0,1
Daumenballen	0,2—0,3
Handteller	0,4—0,5
Handrücken	0,3—0,6
Wange	0,4—0,6
Kinn und Nase	0,3
Stirn	0,5—1
Beugefläche des Vorderarms	0,5
Oberarm	0,6—0,8
Unterschenkel	0,8—2
Oberschenkel	3
Rücken	4,0—6

Die geringe Größe dieser Werte ist zum größten Teil jedenfalls dadurch bedingt, daß absichtlich die Spitzen auf Druckpunkte aufgesetzt wurden. Hiernach wird man, wie dies auch GOLDSCHEIDER selbst anerkennt, nur die nach dem WEBERschen Verfahren erhaltenen Zahlen als diejenigen ansehen können, die ein gewisses Maß für das normale räumliche Unterscheidungsvermögen enthalten, während die für die spezifischen Druckpunkte gefundenen höchstens für die spezifische Empfindlichkeit derselben charakteristisch sind.

Versuche über die räumliche Unterscheidung von Temperaturreizen sind bloß mit Rücksicht auf die Verbreitung der Kälte- und der Wärmepunkte von GOLDSCHEIDER angestellt worden. Sie sind daher nur mit den analogen Versuchen desselben Beobachters über die Unterscheidung von Druckreizen vergleichbar. Auch hier wurden allein die bei möglichst direkter Berührung der Temperaturpunkte mit kalten oder warmen Metallspitzen erhaltenen Minimalwerte der Raumentfernung bestimmt. Auf diese Weise ergaben sich folgende Werte in Millimetern[1]:

	Kältepunkte	Wärmepunkte
Stirn	0,8	4—5
Wange	0,8	3
Kinn	0,8	4
Bauch und Rücken	1—2	4—6
Hohlhand	0,8	2
Handrücken	2—3	3—4
Fuß	3	unbestimmt.

Danach scheint es, daß für die räumliche Unterscheidung der Eindrücke die relative Menge der Temperaturpunkte maßgebend ist. Denn die mit dem feinsten *intensiven* Temperatursinn begabten Teile (Stirn, Wange, Kinn) zeigen auch das feinste *extensive* Unterscheidungsvermögen.

Außer der Methode der Minimaländerungen hat man für die Bestimmung der räumlichen Unterscheidung von Druckreizen noch die *Methode der richtigen und falschen Fälle* angewandt. Wird nämlich den beiden Eindrücken eine unveränderliche Entfernung gegeben, die der Raumschwelle nahe kommt, aber etwas unter ihr bleibt, so werden jene in oft wiederholten Beobachtungen bald richtig als zwei aufgefaßt, bald aber in *einen* Eindruck verschmolzen. Bei der Vergleichung verschiedener Hautstellen wird nun das

[1] GOLDSCHEIDER, a. a. O. S. 70 ff. Ges. Abh. Bd. 1, S. 179.

Verhältnis $\frac{r}{n}$, welches für eine gegebene Distanz gefunden wird, in einem bestimmten Verhältnis zur Lokalisationsschärfe stehen. Doch macht diese Maßmethode bei ihrer Anwendung auf extensive Wahrnehmungen besondere Modifikationen erforderlich, da sich die Messung in diesem Fall nicht, wie bei der Intensität der Empfindungen, auf Größenunterschiede, sondern auf absolute Größen, nämlich eben auf die Wahrnehmung fest bestimmter räumlicher Distanzen, bezieht. Auch führt der Umstand, daß es sich um die Vergleichung verschiedener Hautstellen handelt, jedenfalls weitere komplizierende Bedingungen mit sich. Bei den von VIERORDT und seinen Schülern ausgeführten Versuchen wurde ein »unwissentliches Verfahren« angewandt, indem man die mit einer gegebenen Distanz D angestellten Versuche mit »Vexierversuchen« untermischte, bei denen bloß ein Eindruck stattfand, so daß der Beobachter in jedem einzelnen Fall nicht wissen konnte, ob der Eindruck ein doppelter oder einfacher sei. Später bediente sich dann CAMERER eines »wissentlichen Verfahrens«, indem er fortwährend und ohne eingelegte Vexierversuche die konstante Distanz D benützte[1]. Nach einiger Übung stört die vorhergehende Kenntnis der Eindrücke die Auffassung nicht mehr, ja es scheinen im Gegenteil die zufälligen Schwankungen geringer zu sein. Auch kommen, wenn man Versuche mit bloß einem Eindruck, die also den Vexierversuchen des unwissentlichen Verfahrens entsprechen, ausführt, analog wie bei den letzteren in einer gewissen Anzahl von Fällen Doppelempfindungen vor[2].

In Ermangelung sicherer mathematischer Anhaltspunkte, die zur Verwertung der nach der Methode der r. u. f. F. gewonnenen Versuchsergebnisse dienen könnten, hat man sich übrigens meistens darauf beschränkt, mittels einfacherer Annäherungsberechnungen aus den empirischen Daten Werte zu gewinnen, die ein vergleichbares Maß der Ortsempfindlichkeit abgeben. So bestimmte VIERORDT durch ein graphisches Verfahren, indem er die zueinander gehörigen Werte von D und $\frac{r}{n}$ durch die Abszissen und Ordinaten einer Kurve darstellte, den zu $\frac{r}{n} = 1$ gehörenden Wert von D, also diejenige Distanz, bei der in allen Fällen die Eindrücke als getrennte erkannt werden. Er bezeichnete denselben, da er annähernd der Feinheit der Unterscheidung umgekehrt proportional sein muß, als Stumpfheitswert des Raumsinns. Dabei ergab sich, daß an der oberen Extremität die Unterscheidungsfähigkeit von oben nach unten, und zwar mit beschleunigter Geschwindigkeit, zunimmt. Bei der unteren ist am Oberschenkel und in gewissem Grade auch am Fußrücken und an den Zehen eine ähnliche Zunahme zu bemerken, am Unterschenkel zeigt dagegen die Empfindlichkeit nur geringe Unterschiede. Ähnlich verhalten sich die Rumpf- und die Kopfhaut, wo nur einzelne Stellen, wie Augenlider, Nase, Lippen, durch feinere Unterscheidung sich auszeichnen[3].

Außer den genannten Methoden wurde endlich noch eine dritte von

[1] W. CAMERER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 19, 1883, S. 285 ff.

[2] Vgl. KOTTENKAMP und ULLRICH, Zeitschrift für Biologie, Bd. 6, 1870, S. 37 ff. PAULUS, ebend. Bd. 7, 1871, S. 237 ff. RIECKER, ebend. Bd. 9, 1873, S. 95 ff., Bd. 10, 1874, S. 177. HARTMANN, ebend. Bd. 11, 1875, S. 79 ff. Eine ausführliche Zusammenstellung aller Versuchsresultate gibt VIERORDT, Grundriß der Physiologie[5]. 1877, S. 342 ff.

[3] VIERORDT, Physiologie, S. 344, 347.

VIERORDT und seinen Schülern angewandt: die Methode der Äquivalente. Sie besteht darin, daß man auf eine bestimmte Hautstelle eine Spitzendistanz A, die größer als die Raumschwelle sein muß, einwirken läßt, und für eine zweite Hautstelle diejenige Distanz B ermittelt, die als gleich groß aufgefaßt wird. Es wird dann der Quotient $\frac{A}{B}$ als das Äquivalenzverhältnis zu betrachten sein; je mehr derselbe von der Einheit abweicht, um so verschiedener ist die Raumempfindlichkeit beider Hautstrecken. Durch sukzessive Vergleichungen vieler Hautstellen miteinander kann auf diese Weise eine größere Reihe von Äquivalenzwerten gewonnen werden. Umfangreiche Versuche nach dieser Methode wurden namentlich von CAMERER ausgeführt[1]. Die Versuche müssen, um die konstanten Fehler der Raum- und Zeitlage zu eliminieren, variiert werden, indem man bald auf der ersten bald auf der zweiten Hautstelle die Normaldistanz A, auf der andern die Vergleichsdistanz B wählt, und indem man ferner bald mit einem B deutlich $> A$, bald mit $B < A$ beginnt und allmählich zur Gleichheit fortschreitet. Endlich muß die Veränderung des Äquivalenzverhältnisses bei wechselnder Normaldistanz A untersucht werden. Im allgemeinen scheinen sich die so bestimmten Äquivalenzverhältnisse mit wachsender Distanz mehr und mehr der Einheit zu nähern, so daß bei größern Distanzen die Strecken dann gleich geschätzt werden, wenn sie wirklich annähernd gleich oder nur noch um minimale Werte verschieden sind. In einer Reihe weiterer Untersuchungen verglich CAMERER[2] die mittleren und seitlichen Partien eines Körperteils sowie die Quer- und die Längsrichtung. In ersterer Beziehung fanden sich nur sehr geringe Unterschiede, die gefundenen Äquivalenzverhältnisse schwankten um die Einheit; dagegen ist die Empfindlichkeit in der Querrichtung fast konstant etwas größer als in der Längsrichtung. Ein sicherer Weg zur exakten Verwertung der mittels der Methode der r. und f. Fälle sowie der Äquivalenzmethode gewonnenen Resultate ist übrigens bis jetzt noch nicht gefunden. Mit Rücksicht auf die besonderen Bedingungen der Messung haben zwar sowohl FECHNER[3] wie vor ihm bereits G. E. MÜLLER[4] versucht, die für die Intensitätsmessung verwendeten Formeln (Bd. 1, S. 606) in einer für diesen Zweck geeigneten Weise zu modifizieren, ohne jedoch zu übereinstimmenden und befriedigenden Resultaten zu gelangen[5]. Dies erklärt sich zunächst wohl daraus, daß, wie früher (Bd. 1, S. 602) ausgeführt wurde, die Methode der r. und f. Fälle keine sichere Schwellenbestimmung zuläßt, während vergleichbare Werte des Präzisionsmaßes wegen der verschiedenen Unterscheidungsfähigkeit der einzelnen Hautstellen nicht oder doch erst auf Grund der schon bekannten Raumschwellen gewonnen werden könnten. Überhaupt begegnet aber die der früheren analoge Anwendung des GAUSSschen Integrals auf diesen Fall dem Bedenken, daß es sich hier um Werte einer extensiven Reizschwelle, nicht einer Unterschiedsschwelle handelt. Mit Rücksicht auf diese Schwierigkeiten der Verwertung ist die Fehler- wie die Äqui-

---

1 CAMERER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 23, 1887, S. 509 ff.

2 CAMERER, a. a. O. S. 533. Vgl. einen Auszug aus den numerischen Resultaten dieser und der vorigen Methode die 5. Aufl. dieses Werkes S. 447 ff.

3 G. TH. FECHNER, Abhandl. der sächs. Ges. d. Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 13, 1884, S. 111 f. Vgl. auch CAMERER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 19, 1883, S. 1 ff.

4 G. E. MÜLLER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 19, 1879, S. 191 ff.

5 Über die leitenden Gedanken dieser Berechnungen vgl. 4. Aufl. Bd. 2, S. 12 f.

valenzmethode gegenwärtig im allgemeinen aufgegeben worden, um überall der direkter zum Ziele führenden WEBERschen Schwellenmethode den Platz zu räumen.

b. Physiologische Bedingungen der Raumschwelle. Die Empfindungskreise.

Jeden Hautbezirk, innerhalb dessen eine räumliche Scheidung verschiedener Eindrücke nicht mehr möglich ist, bezeichnet man mit einem von E. H. WEBER eingeführten Ausdruck als einen Empfindungskreis. Die ganze Oberfläche der Haut kann man sich demgemäß aus einer Menge von Empfindungskreisen bestehend denken, deren Größe entsprechend der extensiven Reizschwelle an den verschiedenen Stellen der menschlichen Haut etwa zwischen einem und 68 Millimetern variiert. Da sprungweise Änderungen in der Fähigkeit der räumlichen Unterscheidung im allgemeinen nicht beobachtet werden, sondern die Raumempfindlichkeit innerhalb eines bestimmten Hautbezirks in der Regel konstant bleibt, so nimmt man an, die einzelnen Empfindungskreise griffen dergestalt übereinander, daß unendlich nahe der Grenzlinie eines ersten Kreises bereits die eines zweiten liege, usw. (Fig. 249). Nun werden zwei Eindrücke so lange einfach empfunden werden, als die Distanz *a b*, die sie trennt, innerhalb eines Empfindungskreises liegt. Sie werden dagegen voneinander unterschieden werden, sobald sie um einen Zwischenraum *a c* voneinander entfernt sind, der nicht mehr innerhalb eines einzigen Kreises Platz hat. Alle diese Kreise greifen nun, ähnlich wie dies in Fig. 249 für die horizontale Richtung dargestellt ist, in allen Richtungen übereinander, so daß die Distanz von jedem Grenzpunkt eines Kreises zum Grenzpunkt eines nächsten gegen die Größe der Bezirke selber verschwindet. Nicht an allen Stellen der Haut kann man übrigens den Empfindungskreisen eine wirklich kreisförmige Gestalt zuschreiben. Meistens ist die Unterscheidungsfähigkeit in longitudinaler und querer Richtung verschieden, und zwar in der letzteren feiner als in der ersteren[1]. Hier müssen also Flächenstücke von längsovaler Form angenommen werden. Ferner zeigt der Durchmesser eines Empfindungskreises, wie schon WEBER beobachtete, einen plötzlichen Abfall, oder er wird sogar verschwindend klein, wenn man Hautgebiete, die zwei funktionell gesonderten, aber räumlich dicht

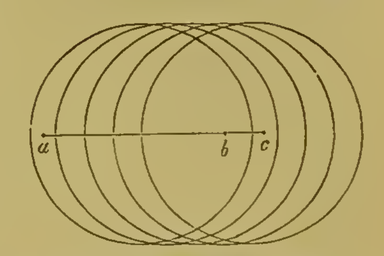


Fig. 249. Schema für das Übereinandergreifen der Empfindungskreise.

[1] WEBER. Annotationes anat. p. 49.

aneinander grenzenden Organen zugehören, mit dem Zirkelversuch prüft, wie z. B. die beiden Lippen, oder die Beugeseite zweier Finger dies- und jenseits des Gelenks. Ähnliche Diskontinuitäten geringeren Grades können auch noch durch andere Strukturunterschiede entstehen. So fand CH. FÉRÉ, daß die Empfindungskreise kleiner erschienen, wenn die zwei Eindrücke in senkrechter Richtung auf den Verlauf der Epidermisleisten, als wenn sie parallel diesem Verlauf einwirkten[1].

Der Begriff des Empfindungskreises in dem von WEBER eingeführten und seitdem in der Physiologie festgehaltenen Sinne bezeichnet demnach in keiner Weise eine für irgendeine Hautstelle absolut feststehende oder auch nur eine in annähernd stetiger Weise von einer Hautstelle zur andern sich abstufende Raumgröße, und schon der Ausdruck »Kreis« ist insofern ein unzutreffender, als die sogenannten Empfindungskreise in den meisten Fällen gar keine wirklichen Kreise sind, sondern sich solchen höchstens an manchen Stellen annähern können. Will man also dem Begriff des Empfindungskreises überhaupt eine empirische Bedeutung anweisen, durch die er sich von dem der Raumschwelle unterscheidet, so wird das nur in der Weise geschehen können, daß man *Empfindungskreise diejenigen Werte der Raumschwelle nennt, die in der physischen Organisation der einzelnen Hautstellen begründet sind*, und die daher den verschiedenen *psychologischen* Einflüssen, unter denen die Raumschwelle mannigfache Schwankungen zeigen kann, als die *konstanteren* Bedingungen gegenüberstehen. In der Tat dürfte dies im allgemeinen der empirische Kern des von WEBER aufgestellten Begriffs der Empfindungskreise sein, wenn man von den mancherlei hypothetischen Elementen absieht, mit denen derselbe schon von WEBER und dann zum Teil noch mehr in den späteren physiologischen Arbeiten vermengt wurde.

Unter den *Strukturbedingungen der Haut*, die für Größe und Gestalt der Empfindungskreise in diesem empirischen Sinne bestimmend sind, stehen nun die Verhältnisse der Nervenverteilung und die Verbreitung besonderer Tastapparate oben an. Je reicher ein Hautbezirk an sensibeln Nerven ist, die sich in ihm ausbreiten, um so feiner ist in ihm die Unterscheidung. Hauptsächlich die nervenreichsten Teile sind außerdem mit Tastkörperchen, Endkolben usw. versehen, durch die wahrscheinlich die Nerven den Druckreizen leichter zugänglich gemacht sind[2]. Werden zwei mit solchen Apparaten versehene Druckpunkte der Haut mit hinreichend punktförmigen Eindrücken getroffen, so werden diese auch, wie es scheint,

---

[1] CH. FÉRÉ, Compt. rend. de la soc. de biol. 1895, p. 675. Rev. philos. t. 41, 1896, p. 632.

[2] Vgl. Bd. 1, S. 453 ff.

räumlich gesondert aufgefaßt. Darum bleiben, wie wir oben sahen, die auf solche Weise bestimmten Schwellenwerte an den Druckpunkten stets erheblich unter dem Durchmesser der nach der Raumschwelle für ausgebreitetere Eindrücke bemessenen Empfindungskreise (S. 468). Doch sind jene Endgebilde keineswegs zur Lokalisation der Eindrücke unerläßlich, da Hautteile, die derselben ganz entbehren, trotzdem zur räumlichen Unterscheidung befähigt sind. Für den entscheidenden Einfluß anderer, nicht ausschließlich an spezifische Endorgane gebundener Bedingungen der Struktur spricht auch die Tatsache, daß an Hautnarben, deren Gewebe zwar sensible Nerven, aber keine Tastkörper führt, sowohl Druck wie Schmerz empfunden und lokalisiert werden. Allerdings ist die Lokalisation in solchen Fällen eine unbestimmtere als an den analogen Stellen des normalen Gewebes, und es fließen daher an ausgedehnten Hautnarben bei der Ausführung des WEBERschen Zirkelversuchs die zwei Eindrücke sogar bei größter Distanz meist in einen zusammen[1]. Doch unterscheidet sich auch hierin eine solche Narbenbildung durchaus nicht von andern normalen Hautstellen, die gleich ihr nur spärlich von Nerven versorgt werden. Endlich würde das Übereinandergreifen der Empfindungskreise, wie es notwendig vorausgesetzt werden muß, mit der Annahme von Tastorganen, die durch vollkommen unempfindliche Stellen getrennt wären, höchstens bei den durch großen Reichtum an Tastkörpern ausgezeichneten Teilen vereinbar sein. Die gesamten Verhältnisse der räumlichen Ordnung der Tastempfindungen weisen daher auf die Annahme hin, daß hier die Nervenfasern selber durch die auf sie einwirkenden Druckreize erregbar sind.

Die übrigen Strukturverhältnisse, die neben der Nervenverteilung die Druckempfindlichkeit bestimmen, wie namentlich die Dicke und die derbe oder weiche Beschaffenheit der Oberhaut, üben dagegen offenbar auf die Feinheit der Lokalisation keinen direkten Einfluß aus. Hautstellen, die, wie Rücken und Wangen, wegen der Zartheit ihrer Oberhaut gegen schwache Reize sehr empfindlich sind, besitzen Empfindungskreise von bedeutender, andere, die durch derbere Struktur ausgezeichnet sind, wie die Fingerspitzen, solche von sehr geringer Größe. Nicht minder ist als unmittelbare Folge der Abhängigkeit von der Nervenverteilung wohl der Einfluß des Körperwachstums zu betrachten. Bei Kindern sind, wie CZERMAK fand, die Empfindungskreise viel kleiner als bei Erwachsenen. Da sich nun die Gesamtzahl der Nervenfasern während des Wachstums wahrscheinlich nicht erheblich ändert, so wird, je mehr durch das Wachstum die Körperoberfläche zunimmt, der einer gegebenen Zahl von Fasern

[1] LUSSANA, Arch. ital. de biol., t. 9, p. 268.

entsprechende Hautbezirk vergrößert. In der Tat beobachtet man einen ähnlichen Erfolg auch bei der Dehnung der Haut, z. B. in der Schwangerschaft, beim Druck von Geschwülsten, oder bei der Streckung eines beweglichen Körperteils wie des Halses. In allen diesen Fällen vermindert sich je nach dem Grad der Dehnung in verschiedenem Maße die Feinheit der Ortsunterscheidung[1]. Auch die oben (S. 471) angeführte Beobachtung, daß an den meisten Stellen des Körpers in querer Richtung die Eindrücke deutlicher als in longitudinaler unterschieden werden, dürfte auf dieselbe Ursache zu beziehen sein. Fast an allen Teilen des menschlichen Körpers, namentlich aber am Rumpf und an den Extremitäten, überwiegt nämlich das Längenwachstum die Zunahme in den andern Durchmessern[2]. Stellen wir uns demnach vor, die Empfindungsbezirke seien ursprünglich wirkliche Kreise gewesen, so müßten dieselben infolge des Wachstums in eine längsovale Form übergegangen sein.

c. Veränderungen der Raumschwelle durch psychologische Bedingungen.

Gegenüber den im allgemeinen gleichförmigen oder gleichförmig nach bestimmten Gesetzen veränderlichen Organisationsbedingungen machen sich nun in mehr schwankender Weise andere Einflüsse geltend, die auf eine Mitwirkung psychologischer Faktoren hinweisen. In erster Linie gehört hierher wahrscheinlich der oben erwähnte Unterschied der Simultan- von der Sukzessivschwelle. Man hat ihn besonders im Hinblick auf die geringeren Raumwerte und die größere Konstanz der letzteren darauf zurückzuführen gesucht, daß die Sukzessivschwelle in den festen physischen Verhältnissen der Verteilung der Druckpunkte begründet, die Simultanschwelle aber außerdem von den variabeln psychologischen Bedingungen der Übung, Ermüdung usw. abhängig sei[3]. Aber nicht nur ist

---

[1] CZERMAK, Wiener Sitzungsber., 3, Bd. 15, 1885, S. 466, 487, und MOLESCHOTTS Untersuchungen, Bd. 1, S. 202. G. HARTMANN, Zeitschrift für Biologie, Bd. 11, 1875, S. 99. TEUFFEL, ebend. Bd. 18, 1882, S. 247. Übrigens ist es wahrscheinlich, daß in allen diesen Fällen zugleich die stärkere Spannung der Haut die Lokalisationsschärfe beeinträchtigt. Auch fand G. HARTMANN bei der Streckung des Halses die Veränderung nur unbedeutend: sie betrug bloß 8% des Normalwertes. Die Beobachtung, daß an einem durch Anchylose des Kniegelenks atrophisch gewordenen Bein die Raumschwelle etwas kleiner war als auf der gesunden Seite, ist wahrscheinlich umgekehrt auf die Schrumpfung der Hautbezirke zu beziehen (SCHIMPF, Zeitschrift für Biologie, Bd. 17, 1881, S. 62 ff.). Eine Vergrößerung der Raumschwelle bei Anämie der Haut beobachtete VASCHIDE, Comptes rend. de l'Acad. t. 139, 1904, p. 486. Über Veränderungen bei Lähmungszuständen vgl. FÖRSTER, Monatsschr. f. Psychiatrie, Bd. 9, 1901, S. 31, 131 ff. SCHLITTENHEIM, Deutsche Zeitschr. für Nervenheilkunde, Bd. 22, 1902, S. 1 ff., 428 ff. AD. SCHMIDT, ebend. Bd. 26, 1904. S. 323 ff.

[2] Vgl. die Tabellen bei HARLESS, Lehrbuch der plastischen Anatomie. Abt. 3. S. 192.

[3] VON FREY und METZNER, a. a. O. S. 181.

die hierbei für die Sukzessivschwelle vorausgesetzte Proportionalität zwischen Raumschwelle und Entfernung der Druckpunkte durchaus hypothetisch, sondern es hat auch wenig Wahrscheinlichkeit, daß in einer Reihe aufeinanderfolgender Versuche immer wieder gleich entfernte Druckpunkte getroffen werden sollen. Nimmt man dagegen an, die Raumschwelle beruhe zunächst auf der Unterscheidung qualitativer Differenzen der Druckempfindungen, so ist es wohl begreiflich, daß die beiden Empfindungen deutlicher sich ausprägen, wenn bei ihrer Sukzession jede isoliert einwirkt, als wenn sie simultan in eine mehr diffuse Empfindung zusammenfließen. Damit stimmt auch überein, daß bei der Sukzessivschwelle die Richtung, in der die Eindrücke stattfinden, z. B. ob quer oder longitudinal, viel deutlicher ist als bei der Simultanschwelle.

Einen weiteren wichtigen Faktor, der allerdings teilweise noch in das Gebiet physiologischer Verhältnisse hinüberreicht, bildet sodann der Einfluß der Bewegung der Tastorgane. Je vielseitiger und feiner die Bewegung eines Körperteils ist, um so genauer geschieht die Lokalisation. Wahrscheinlich dürfen wir es hierauf schon teilweise zurückführen, wenn, wie die WEBERsche Tabelle (S. 467) zeigt, die Raumunterscheidung am unvollkommensten auf jenen großen Flächen des Rumpfes ist, die keine Bewegung der Teile gegeneinander zulassen, und unter den Abteilungen der Extremitäten an den längsten, dem Oberschenkel und Oberarm; wogegen sie am feinsten an den außerordentlich beweglichen Finger- und Zehengliedern ist, namentlich an der Volarfläche, die vorzugsweise bei der Bewegung zum Betasten der Gegenstände benützt wird[1]. Aber dieser letzterwähnte Punkt weist zugleich auf Miteinflüsse hin, die es unwahrscheinlich machen, daß zwischen der Beweglichkeit der Teile und der Feinheit der Ortsunterscheidung, abgesehen von dieser allgemeinen Abhängigkeit, irgendeine festere Beziehung aufzufinden sei[2]. Zudem sind die beweglicheren Teile im allgemeinen diejenigen, die durch feinere Nervenverteilung und zahlreichere Endorgane sich auszeichnen. Ebenso beruht es wohl auf einer in wechselseitiger Anpassung entstandenen Verbindung dieser Bedingungen, der Verteilung der Tastnerven und des Einflusses der Bewegung, daß, wenn man zwei gegeneinander bewegliche Körperteile, z. B. die beiden Lippen oder die Haut an den beiden Gren-

[1] VIERORDT, PFLÜGERS Archiv, Bd. 2, 1869, S. 297. Grundriß der Physiologie 5, S. 342.

[2] VIERORDT hat geglaubt, eine solche Beziehung nachweisen zu können, nach der die Feinheit der Unterscheidung dem Abstand eines Hautbezirks von der Drehungsachse proportional sei. An der oberen Extremität scheinen sich die Resultate am ehesten dieser Regel zu fügen. Doch finden sich schon hier an der Beugeseite des Glieds Abweichungen, und an der untern Extremität sowie an der Rumpf- und Kopfhaut sind die Verhältnisse überall zu verwickelt, als daß an die Feststellung einer exakten Beziehung zu denken wäre.

zen eines Gelenkes, berührt, eine minimale Distanz noch erkannt werden kann[1].

Mit der Bewegung hängt der Einfluß der Übung so nahe zusammen, daß beide kaum voneinander zu sondern sind. Aus welchen psychologischen Faktoren die Vorgänge, die wir unter dem etwas vieldeutigen Namen »Übung« verstehen, sich in diesem Fall zusammensetzen, wird erst später, bei dem Versuch einer Analyse der Entwickelungsbedingungen der Tastvorstellungen, zu erörtern sein. Hier mag der Ausdruck einstweilen gebraucht werden, um die Einflüsse zusammenzufassen, die eine häufige, mit möglichster Spannung der Aufmerksamkeit verbundene Wiederholung von Versuchen gleicher Art auf deren Resultate äußert. Die Übung in diesem Sinne wird nun hauptsächlich durch fortwährende Tastbewegungen gefördert, und unbewegliche Teile sind der Übung fast ganz unzugänglich. So beobachtet man, daß bei Blinden, deren Raumunterscheidung mittels der Haut oft außerordentlich fein ist, doch hauptsächlich die beweglicheren tastenden Glieder an dieser Vervollkommnung teilnehmen[2]. Besonders bei Blindgeborenen scheint sich mit der Raumauffassung des Tastsinns überhaupt auch die Schärfe der Lokalisation zu vervollkommnen: so z. B. in dem berühmten Fall der in frühester Lebenszeit erblindeten taubstummen Laura Bridgman[3].

Nicht minder läßt sich dieser Einfluß der Übung durch Versuche feststellen. Dabei zeigt sich im allgemeinen, daß, je größer die bereits erworbene Vollkommenheit, um so weniger eine weitere Vervollkommnung möglich ist. So fand VOLKMANN, daß an der von Natur wenig geübten Haut des

---

[1] WEBER, Annot. anat. p. 60.

[2] CZERMAK, Wiener Sitzungsber. 3, Bd. 15, 1855, S. 482. GOLTZ, De spatii sensu cutis. Dissert. Königsberg. 1858. GÄRTTNER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 17, 1881, S. 56. Übrigens scheint eine besondere Verfeinerung der Raumschwelle durchaus nicht bei allen Blinden nachweisbar zu sein. Vgl. HOCHEISEN, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 5, 1893, S. 239. HELLER, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 237. HAINES, Psych. Rev. vol. 12, 1905, p. 207 ff.

[3] Laura Bridgman, taubstumm geboren, erblindete zu Ende ihres zweiten Lebensjahres und verlor bald darauf infolge einer Eiterung Geruch und Geschmack fast ganz. In der Blindenanstalt zu Massachusetts erzogen, erwarb sie sich nach den Berichten ihrer Lehrer und Besucher eine feine Bildung und die verschiedenartigsten Kenntnisse, in denen sie bei hervorragender Begabung und hoher Wißbegierde rasche Fortschritte machte. Obgleich sie die Wortsprache erlernte, so dachte und träumte sie doch in der Fingersprache. Starke Tonschwingungen nahm sie durch den Tastsinn der Füße wahr. Die Lokalisationsschärfe ihres Tastsinns übertraf nach den Beobachtungen von STANLEY HALL um das 2- bis 3 fache die gewöhnliche. Man vergleiche über diesen und ähnliche Fälle BURDACH, Blicke ins Leben, Bd. 3, S. 12 ff., sowie die ebend. S. 301 angeführte Literatur, speziell über Laura Bridgman G. STANLEY HALL, Mind, April 1879. W. JERUSALEM, Laura Bridgman. 1890, S. 31 ff. Übrigens sind bei Blindtauben auch Fälle beobachtet, wo die Raumschwelle gegenüber den normalen Verhältnissen Sehender nicht erheblich verändert war. Vgl. UHTHOFF, Über das Sehenlernen eines siebenjährigen Blindgeborenen. 1891, S. 54. JASTROW, Psychol. Rev. vol. 1, 1894, p. 356. (Mitteilungen über die Blindtaube Helen Keller.) HELEN KELLER, Die Geschichte meines Lebens.

Ober- und Unterarms der Erfolg der absichtlichen Übung weit bedeutender war als an der Volarseite der Fingerglieder. Auch bei verschiedenen Individuen wechselt der Einfluß der Übung sowie die Geschwindigkeit, mit der sie sich geltend macht. Doch ist meist schon nach Versuchen von wenigen Stunden ein Grenzpunkt erreicht, der nicht mehr überschritten wird, weil in solchen Fällen vorübergehender Versuchsübung die erworbenen Vorteile fast ebenso schnell wieder verloren gehen, als sie entstanden sind[1]. Auch wirkt, wenn man die Beobachtungen lange Zeit fortsetzt, die Ermüdung, die zum Teil in einer physiologischen Abstumpfung des Tastorgans, namentlich aber in der Abnahme der Aufmerksamkeit zu bestehen pflegt, den Einflüssen der Übung entgegen[2]. Übrigens wirkt die letztere nach VOLKMANN nicht nur auf die direkt von den Tastreizen getroffene Hautstelle, sondern gleichzeitig auf die symmetrische Stelle der andern Körperhälfte, während sich auf asymmetrische Teile beider Seiten oder auf verschiedenartige einer Seite nur in sehr geringem Maße diese Wirkung erstreckt; am meisten ist sie noch an benachbarten Stellen zu erkennen. So gewinnen z. B. durch die Übung eines Fingers auch die andern Finger der nämlichen Seite.

Mit den Wirkungen der Übung stehen jene Einflüsse in naher Beziehung, welche die veränderte Empfindlichkeit des ganzen Tastorgans oder eines einzelnen Hautbezirks ausübt. Eine verminderte Empfindlichkeit, wie sie bei einem Druck auf die Hautnerven, z. B. beim sogenannten Eingeschlafensein der Glieder, oder bei der lokalen Anwendung anästhetischer und narkotischer Mittel, Äther, Chloroform, Morphium, beobachtet wird, ist stets mit einer Vergrößerung der Raumschwelle verbunden[3]. Dasselbe beobachtet man bei Rückenmarks- und Hirnaffektionen, welche teilweise Anästhesie der Haut im Gefolge haben[4]. Bei mäßiger

[1] VOLKMANN, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1858, S. 38 ff.

[2] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 37 ff.

[3] KREMER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 38, 1883, S. 271. Das Morphium scheint sich nach diesen Versuchen von den eigentlich anästhetischen Mitteln (Äther, Chloroform) dadurch zu unterscheiden, daß bei den letzteren die Abnahme der Empfindlichkeit auf die betroffene Stelle beschränkt bleibt, während sie sich bei der subkutanen Injektion des ersteren in mehr oder minder großem Umfange über die Injektionsstelle ausdehnt.

[4] BROWN-SÉQUARD fand in mehreren Fällen von Hyperästhesie, namentlich bei Herderkrankungen in den Hirnschenkeln und im Pons, daß die Patienten geneigt waren, die Eindrücke zu vervielfältigen, also z. B. drei statt zwei Berührungen zu empfinden (Archive de physiol., t. 1, p. 461). Ich habe die nämliche Erscheinung auch bei Hyperästhesie infolge von Rückenmarkserkrankungen sowie bei einem Patienten nach der Darreichung kleiner Dosen von Strychnin beobachtet. Sie beruht vermutlich darauf, daß solche Kranke leicht ihre subjektiven Empfindungen mit dem äußeren Eindruck vermengen. Übrigens findet es sich bei den oben (S. 469) erwähnten sogenannten Vexierversuchen, daß auch normale Individuen zuweilen zwei Eindrücke statt eines zu empfinden glauben, und zwar tritt dies nicht bloß bei unwissentlichem, sondern gelegentlich selbst bei wissentlichem Verfahren ein, d. h. wenn man weiß, daß tatsächlich nur ein Eindruck stattfand. (CAMERER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 19, 1883, S. 297. G. TAWNEY, Philos. Stud. Bd. 13, 1898, S. 163 ff.)

Abnahme der Empfindlichkeit besitzen nur die Empfindungskreise einen größeren Umfang als im normalen Zustand, bei höheren Graden finden meistens zugleich mehr oder weniger bedeutende Täuschungen über den Ort der Berührung statt. Namentlich beobachtet man, daß Eindrücke, die eine krankhaft unempfindliche Hautstelle treffen, an einen Ort verlegt werden, der im gesunden Zustand von geringerer Empfindlichkeit ist. Ein Patient z. B., der an Anästhesie der unteren Extremitäten leidet, kann Eindrücke auf den Unterschenkel oder Fuß an den Oberschenkel verlegen[1]. Ferner gehört hierher das bei hysterischen Sensibilitätsstörungen vorkommende Phänomen der sogenannten »Allocheirie«: ein Reiz auf Hand oder Arm wird an der symmetrisch gelegenen Stelle der andern Körperhälfte lokalisiert, — eine Erscheinung, die sichtlich an die oben erwähnte unwillkürliche Mitübung symmetrischer Stellen in VOLKMANNS Versuchen erinnert[2]. Auf ein Zusammenwirken von Sensibilitätsänderungen mit den Einflüssen der sogenannten Übung ist endlich wohl die bei chirurgischer Transplantation von Hautstücken beobachtete allmähliche Veränderung der Lokalisation zu beziehen. Nach der Rhinoplastik aus der Stirnhaut z. B. verlegt der Patient zunächst noch die Eindrücke in die Stirngegend. Diese Täuschung macht aber sehr bald einer richtigen Lokalisation Platz, und nach einer kurzen Periode verminderter Empfindlichkeit kann die transplantierte Hautstelle dieselbe Lokalisationsschärfe wieder erlangen, die sie auf ihrem Mutterboden besessen hatte[3].

Zu den angeführten psychologischen Einflüssen, die sich im wesentlichen ausschließlich im Funktionsgebiet des Tastsinnes selbst bewegen, tritt nun endlich als ein Moment von hervorragender Bedeutung der Einfluß des Gesichtssinnes. Er ist in dem Obigen bei der Hervorhebung der Unterschiede zwischen dem Sehenden und dem Blinden bereits in dem Sinne hervorgehoben worden, daß der Mangel der Gesichtsvorstellungen eine ungewöhnlich hohe Ausbildung der Tastfunktionen zu begünstigen pflegt. Dem steht nun aber nicht minder bedeutsam der positive Einfluß gegenüber, den beim Sehenden und zumeist auch noch bei dem Blinden, der sich aus einer früheren sehenden Periode seines Lebens die Erinnerung an Gesichtsbilder bewahrt hat, der Gesichts- auf den Tastsinn aus-

---

1 WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 47.

2 P. JANET, Nevroses et idées fixes, t. 1, 1898, p. 234 ff.

3 STRANSKY, Sensibilitätsuntersuchungen an transplantierten Hautstücken. Wiener klinische Wochenschrift, 1899, Nr. 32 und 33. Zuweilen werden, indes stärkere Eindrücke schon richtig lokalisiert werden, schwache Reize noch an den früheren Ort des transplantierten Stücks verlegt, ein Unterschied, der wohl mit der überhaupt viel unbestimmteren Unterscheidung und Lokalisation sehr schwacher Reize zusammenhängt. So fanden schon A. FICK und WUNDERLI (MOLESCHOTTS Untersuchungen, Bd. 7, S. 393), daß leise Druckreize mit Wärmereizen verwechselt werden können; und ähnlich überzeugt man sich leicht an sich selbst von der überaus diffusen Lokalisation minimaler Reize.

übt. Dieser Einfluß läßt sich wohl am sichersten gerade bei den Tastversuchen nach der WEBERschen Methode in der unmittelbaren Selbstbeobachtung konstatieren, wenn man sich genau den Bewußtseinsvorgang bei einem solchen Zirkelversuch vergegenwärtigt. Man beobachtet dann, daß regelmäßig im Moment des Eindrucks ein blasses Erinnerungsbild der berührten Stelle auftaucht[1]. Dieses begleitende Bild ist natürlich um so deutlicher, je mehr die berührte Stelle auch sonst in unserem Gesichtskreise liegt. Gleichwohl fehlt es selbst da nicht, wo diese Bedingung nicht zutrifft. So ist z. B. die Berührung des Rückens, obgleich wir diesen direkt niemals sehen, ebenfalls von einem solchen blassen Erinnerungsbilde begleitet; doch schiebt sich dabei, wie man bei aufmerksamer Selbstbeobachtung findet, in freilich ganz verschwimmenden Umrissen zugleich das irgend eines andern, hinter uns aufgestellten Beobachters ein, den wir unserem eigenen Sehen substituieren. Ich glaube nicht, daß diese begleitenden Gesichtsbilder irgendeinem sehenden Menschen fehlen: wenn man bei Lokalisationsversuchen die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sie lenkt, so erhält man sie ausnahmslos bestätigt. Aber auch den Erblindeten fehlen sie nicht, sofern der Zeitpunkt ihrer Erblindung nicht in eine frühere Zeit als etwa das vierte oder fünfte Lebensjahr fällt[2]. Im Gegenteil scheint es, daß der Blinde infolge der intensiveren Spannung der Aufmerksamkeit auf seine Tasteindrücke meist lebhafter als der Sehende jene Erinnerungsbilder reproduziert, deren räumliche Eigenschaften sich unbegrenzt zu erhalten scheinen, wenn auch ihre Farben im Laufe der Zeit allmählich verblassen. Dieser Einfluß begleitender Gesichtsvorstellungen spricht sich nun aber weiterhin auch darin aus, daß die nach irgend einer der obigen Methoden bestimmte Raumschwelle infolge der Versuchsübung bei sonst gleichen Bedingungen rascher abnimmt, wenn diese Übung durch begleitende Gesichtswahrnehmungen unterstützt wird, als wenn der Tastsinn auf sich selbst angewiesen bleibt. Zugleich zeigen sich jedoch dabei nach den Beobachtungen von M. F. WASHBURN individuelle Unterschiede, die mit der verschiedenen »visuellen« Anlage der Personen, d. h. mit ihrer Fähigkeit mehr oder minder lebhafte Erinnerungsbilder zu erneuern, zusammenzuhängen scheinen[3]. Solche individuelle

---

[1] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, 1. Abh. 1858, S. 60. Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele[1], Bd. 1, 1863, S. 258. [4] S. 170.

[2] TH. HELLER, Studien zur Blinden-Psychologie. Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 227.

[3] M. F. WASHBURN, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 190 ff. Auch die von VOLKMANN zuerst beobachtete unwillkürliche Mitübung der symmetrischen Hautstellen der gegenüberliegenden Seite (S. 455) wird von Miß WASHBURN auf visuellen Einfluß zurückgeführt, da sie bei Wiederholung der Versuche unter Ausschluß des Gesichtssinnes und bei Blinden diese Mitübung nicht beobachten konnte. Die Allgemeingültigkeit dieses Resultates möchte ich jedoch bezweifeln, da VOLKMANN selbst aller Wahrscheinlichkeit nach die WEBERschen Versuche nicht anders ausgeführt hat, als dies in der Regel zu geschehen pflegt,

Unterschiede fand auch PILLSBURY, als er Lokalisationsversuche in der Weise vornahm, daß er bei abgewandtem Auge des Beobachters nur eine Hautstelle berührte und dann auf einer lebensgroßen Photographie des Körperteils die berührte Stelle bezeichnen ließ[1].

2. Wahrnehmungen der Größe und Gestalt der Objekte.

a. Passive Tastwahrnehmungen.

Auf der Lokalisation der Tastempfindungen beruht unmittelbar die Fähigkeit des Tastorgans, Vorstellungen von der Ausdehnung und Gestalt der berührenden Objekte zu vermitteln. Dies kann aber wieder auf doppelte Weise geschehen: entweder indem ein Objekt auf das ruhende Tastorgan einwirkt, oder bei gleichzeitiger Ausführung von Tastbewegungen. Wir wollen das erstere der Kürze wegen als die passive, das letztere als die aktive Tastwahrnehmung bezeichnen.

Unter ihnen bildet die passive Tastwahrnehmung einen Grenzfall, der in der Wirklichkeit, wo der Tastende wenn immer möglich seine Bewegungen zu Hilfe nimmt, sehr selten vorkommt. Die einfachste Vorstellung einer passiv wahrgenommenen tastbaren Strecke besteht aber in jener Vorstellung der Entfernung zweier berührender Punkte voneinander, wie sie bei dem WEBERschen Fundamentalversuch die Unterscheidung der Eindrücke begleitet. Eine solche Entfernungsvorstellung kann naturgemäß erst entstehen, wenn die extensive Schwelle erreicht oder überschritten ist; von da an ist sie dann, wie schon oben bemerkt wurde, keineswegs der Lokalisationsschärfe proportional, sondern, sobald Eindrücke von einer bestimmten Distanz überhaupt unterschieden werden, erscheinen sie an den verschiedenen Hautstellen in annähernd gleicher räumlicher Entfernung.

---

nämlich unter Ausschluß des Gesichtssinns. Die längsovale Beschaffenheit der sogenannten Empfindungskreise, die WASHBURN aus den Eigenschaften der Gesichtsbilder erklärt, hängt dagegen, wie oben bemerkt, wahrscheinlich mit den Wachstumsverhältnissen zusammen (S. 473).

[1] PILLSBURY, Amer. journ. of Psychol. vol. 7, 1895, p. 42. Der nämlichen Methode hatte sich zuvor schon und dann auch in späteren Versuchen, in denen er statt der Photographien plastische Gipsmodelle der Körperteile anwandte, V. HENRI bedient (Arch. de physiol. 1893, p. 619. Über die Raumwahrnehmungen des Tastsinns. 1898). Abgesehen von dem Hinweis auf die verschiedene Lebhaftigkeit der visuellen Erinnerungsbilder, die sich aus den Resultaten von PILLSBURY ergibt, steht übrigens diese Methode unter zu komplizierten Bedingungen, als daß sie auf irgendwelche den Tastsinn selbst betreffende Fragen eindeutige Antworten gestattete. Wenn z. B. HENRI fand, daß die Eindrücke in der Übertragung auf das Gesichtsbild regelmäßig in der Richtung gewisser Hautfalten verschoben wurden, so beruht dieses Ergebnis wahrscheinlich darauf, daß an jedem Gesichtsobjekt die Konturen oder sonstige ausgezeichnete Stellen zuerst fixiert werden. (Vgl. unten Kap. XIV.) Mit den Eigenschaften des Tastsinns hat also die Erscheinung schwerlich etwas zu tun.

In höherem Grade ist die Auffassung der Gestalt der Objekte von der Lokalisationsschärfe abhängig. Schneidet man z. B. aus Pappe eine größere Zahl kreisförmiger und quadratischer Scheiben von verschiedener Größe, so findet man, daß dieselben bei einem um so kleineren Durchmesser unterschieden werden, je feiner die Ortsempfindlichkeit der betreffenden Hautstelle ist. Alle diese räumlichen Wahrnehmungen bleiben jedoch sehr unvollkommen. Eine genaue Auffassung der Form und Größe ist völlig unmöglich. Quadrate und Kreise können selbst bei einer die Raumschwelle weit übersteigenden Größe nicht unterschieden werden; und die Unterschiede linearer Strecken oder der Durchmesser berührender Flächen können zwar schon diesseits der Raumschwelle die Vorstellung abweichender Größe hervorbringen, doch bleiben auch hier die Unterscheidungen unbestimmt, und die Begrenzungen der Linien oder Flächen erscheinen unsicher, sehr verschieden von dem sehr bestimmten Eindruck, den z. B. die Zweiheit der Zirkelspitzen bei dem WEBERschen Versuch macht[1].

Entsprechend dieser Unbestimmtheit des Eindrucks, den ausgedehnte Flächen oder Strecken hervorbringen, beobachtet man ferner, daß, so sicher nach Überschreitung der Raumschwelle die Vorstellung der räumlichen Sonderung ist, so unsicher die ihrer Distanz und Richtung bleibt. Sehr auffallend tritt dies hervor, wenn man einem Beobachter die Aufgabe stellt, beim WEBERschen Versuch den auf Grund der bloßen Tastwahrnehmung gewonnenen Distanzeindruck in ein äquivalentes Gesichtsbild zu übertragen, also etwa in Distanzen eines zweiten Stangenzirkels anzugeben. Man erhält dann im allgemeinen sehr unsichere und schwankende Angaben, welche nur darin übereinstimmen, daß der Tasteindruck bei dieser Übertragung in ein Gesichtsbild stets erheblich verkleinert erscheint[2]. Dies hängt jedenfalls damit zusammen, das das Erinnerungsbild, das wir von unserem eigenen Körper und seinen Teilen in uns tragen, infolge der Assoziationen, die in uns bereit liegen, überhaupt ein mehr oder minder verkleinertes Bild ist. So beziehen sich unsere visu-

---

[1] HOFFMANN, Stereognostische Versuche. Diss. Straßburg. 1883. EISNER, Beurteilung der Größe und Gestalt von Flächen. Diss. Erlangen. 1888. JUDD, Philos. Stud. Bd. 12, 1896, S. 409 ff. EISNER fand die relative Schwelle der Unterscheidung des Durchmessers kreisförmiger Flächen am Rücken 2 : 25 mm, am Handrücken 2 : 6 mm; JUDD bei linearen Eindrücken in der Mitte der Volarseite des Vorderarms die absolute Schwelle für die Unterscheidung der Strecke vom Punkt 6—12 mm. Wie man sieht, liegen diese Werte erheblich unter der WEBERschen Raumschwelle (vgl. oben S. 467). Dagegen ist die Unterscheidung hier, sobald die Schwelle erreicht ist, eine viel bestimmtere und deutlichere. Dies spricht sich auch darin aus, daß, wie JUDD fand, die Strecken erheblich größer, = 28—48 mm, genommen werden mußten, wenn außerdem auch die Richtung unterschieden werden sollte.

[2] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 34 ff. Die gleiche Tatsache ist auch von JASTROW (Mind, vol. 11, 1883, p. 539) bemerkt worden.

ellen Erinnerungen meist auf Menschen, die wir aus einer größeren Entfernung beobachten, und die wir uns darum in verhältnismäßig verkleinerten Erinnerungsbildern vorstellen. Aber auch abgesehen von solchen visuellen Einflüssen führt schon die Schätzung von Raumstrecken nach der Distanz ihrer beiden Endpunkte die Tendenz mit sich, die zwischen diesen liegende nicht berührte oder minder beachtete Strecke zu unterschätzen, daher denn die hierher gehörigen Täuschungen nicht bloß bei Sehenden, sondern in derselben Weise bei Blindgeborenen beobachtet werden. Offenbar ist es nur eine Modifikation der gleichen Erscheinung, wenn ein Tasteindruck infolge des an einer andern Stelle zu ihm hinzutretenden Nebenreizes eine scheinbare Annäherung an diesen erfährt[1]. Auch die Unterschätzung der Beugestellung eines Gliedes oder einer Neigung des Kopfes und des Körpers gegen seine sagittale Achse ist eine verwandte Erscheinung[2]. Endlich gehört hierher die mehrfach von Chirurgen nach der Amputation eines Gliedes gemachte Beobachtung, daß nicht bloß die Empfindungen in dem Stumpf in das fehlende Glied verlegt werden, sondern daß dieses auch beträchtlich verkleinert vorgestellt wird, so daß z. B. die fehlende Hand nahe bei der Schulter erscheint. Wahrscheinlich ist es hierbei die ausschließliche Beziehung der durch die Reizung des Stumpfes ausgelösten Empfindungen auf die Hand bei fehlenden Spannungs- oder Bewegungsempfindungen der zwischenliegenden Teile, die die Annäherungstäuschung verstärkt[3]. Umgekehrt bemerkt man daher, daß die gewöhnliche, bei normaler Beschaffenheit der Glieder vorhandene scheinbare Verkleinerung geringer wird, wenn die Aufmerksamkeit auf das Glied gerichtet, oder wenn dieses bewegt wird[4]. Entsprechend diesem der Täuschung entgegenwirkenden Einfluß der Deutlichkeit der Eindrücke und der Aufmerksamkeit beobachtet man schon bei dem WEBERschen Zirkelversuch, daß die Distanz zwischen den beiden Spitzen bei stärkerer Berührung größer als bei schwacher erscheint, und daß ein unmittelbar vorangegangener Eindruck den ihm nachfolgenden durch Kontrast verändert: er läßt, wenn er größer ist, den ihm folgenden kleiner, wenn er kleiner ist, größer erscheinen, als er ohnedies erscheinen würde[5].

Lassen sich alle diese Erscheinungen auf assimilative Einwirkungen vorangegangener oder gleichzeitiger Eindrücke und in bestimmten Grenz-

---

1 H. J. PEARCE, Archiv f. die ges. Psych. Bd. 1, 1903, S. 31 ff.

2 SACHS und NETTER, Zeitschr. f. Psychol. Bd. 38, 1895, S. 34 ff. Vgl. auch KREMER und MOSKIEWICZ ebend. Bd. 31, 1893, S. 89 ff.

3 WEIR MITCHELL, Injuries of Nerves and their consequences, 1874.

4 C. SPEARMAN, Psychol. Stud. Bd. 1, 1906, S. 477 ff.

5 WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 35 ff. Den zuletzt erwähnten sukzessiven Kontrast hat CAMERER bestätigt (Zeitschrift für Biologie, Bd. 19, 1883, S. 281).

fällen, wie in dem letzten Beispiel, auf Kontrastwirkungen solcher zurückführen, so zerfallen nun aber die allgemeinen Bedingungen, unter denen diese Einflüsse stehen, vornehmlich in die zwei Faktoren, von denen überhaupt die Lokalisation eines Reizes an irgend einem Körperteil abhängt. Der eine dieser Faktoren ist das Lageverhältnis des Eindrucks zu den Grenzpunkten des Gliedes, also z. B. das eines den Vorderarm treffenden Reizes zu dem Ellbogen und der Hand sowie zum Ulnar- und Radialrand. Der andere besteht in dem Winkel, den das betreffende Glied durch seine Beugung im Gelenk zu der Körperachse bildet. Nennt man die erstere die »segmentale«, die zweite die »artikulare« Lagebestimmung, so entspricht nun auch beiden eine segmentale und eine artikulare Täuschung, d. h. eine Abweichung der vorgestellten von der wirklichen Lage. C. SPEARMAN suchte beide Täuschungen zu ermitteln, indem er den Arm einer Versuchsperson auf einer ihn in fester Stellung aufnehmenden horizontalen Unterlage ruhen ließ und in angemessenem Abstand über ihm ein enges Drahtnetz ausspannte. Wurde dann bei abgewandtem Blick eine Stelle der Haut mit einem Stäbchen berührt, und ließ man die Versuchsperson mit einem in der andern Hand gehaltenen Stäbchen an dem Drahtnetz die Stelle der scheinbaren Berührung bezeichnen, so wich diese scheinbare von der wirklichen Berührungsstelle im allgemeinen ab, und der so begangene Fehler ließ sich dann wieder in einen solchen der segmentalen und in einen der artikularen Täuschung zerlegen. Als das regelmäßige Resultat ergab sich hierbei eine Unterschätzung der zu messenden Größen, und zwar in dem Sinne, daß die segmentale Täuschung einer anziehenden Wirkung durch die vorangegangenen Lokalisationen unterliegt, so daß sich in einer größeren Reihe von Versuchen die Tendenz ausbildet, den Eindruck möglichst nahe dem Zentrum des Gliedes, also in dem bei unregelmäßiger Verteilung der Reize am häufigsten getroffenen Gebiet, zu lokalisieren, während die artikulare Täuschung durchgehends in einer Unterschätzung des Gelenkwinkels besteht. Unter diesen beiden Täuschungen erklärt die erste vornehmlich die uns schon in den verschiedensten andern Erscheinungen begegnete Verkleinerung des Vorstellungsbildes der tastenden Organe gegenüber der Wirklichkeit; aus der zweiten erklärt sich ebenso die allgemeine Tendenz, irgendwelche relative Lageabweichungen und Lageänderungen in der Vorstellung zu verkleinern. Verbindet sich nun, wie in der Regel beim Sehenden, ein reproduziertes Gesichtsbild mit dem Tasteindruck, so kann jenes diese Verkleinerung unterstützen. Es kann aber nicht die Ursache der Täuschung sein, da diese bei Blindgeborenen genau in der gleichen Weise auftritt, so daß in dem Ineinandergreifen der hier wirksamen Momente die Verkleinerung des Gesichtsbildes auch

wieder Wirkung der Unterschätzung des Tastbildes sein kann. Dieses selbst ist dagegen wesentlich von reproduktiven Assimilationen abhängig. Das zeigt bei der segmentalen Täuschung die Tatsache, daß sich das Attraktionszentrum für die späteren Lagevorstellungen aus den vorangegangenen Lokalisationen herausgebildet hat. Ähnlich sind bei der artikularen Täuschung die normalen relativ geringgradigen Beugestellungen der Gelenke wahrscheinlich Assimilationszentren für die größeren Winkelabweichungen, und bilden die durch häufigen Tastgebrauch ausgezeichneten Teile, wie die Hand, Attraktionszentren für die Eindrücke auf seltener gebrauchte Teile. Dem entspricht es nun auch, daß sich alle diese Täuschungen durch fortgesetzte Kontrolle des Gesichtssinnes und der Aufmerksamkeit vermindern und schließlich ganz schwinden können. Zeigt eine solche Kompensation der Täuschung deutlich, daß sie nicht auf irgendwelchen Bedingungen der physischen Organisation des Tastorgans, sondern auf psychischen Bedingungen beruht, so steht sie übrigens außerdem im Einklang mit der allgemeinen Beobachtung, daß, wo reproduktive Einflüsse mit der unmittelbaren Wahrnehmung in Widerstreit geraten, schließlich besonders bei der Wiederholung der Einwirkungen die direkten Wahrnehmungsinhalte das Übergewicht erlangen, wahrscheinlich indem die vorangegangenen übereinstimmenden Eindrücke nunmehr die niemals fehlenden reproduktiven Elemente bilden helfen. Am stärksten korrigierend wirken übrigens diese Einflüsse der direkten Gesichtswahrnehmung und der Aufmerksamkeit dann, wenn sie sich außerdem noch mit dem Einfluß der Bewegung des betasteten Gliedes verbinden und so die passive in eine aktive Tastwahrnehmung überführen[1].

b. Aktive Tastwahrnehmungen.

Das wesentliche Moment, durch das sich die aktiven von den passiven Tastwahrnehmungen unterscheiden, besteht in dem Hinzutritt innerer Tastempfindungen von veränderlicher und jedesmal der Beschaffenheit der Eindrücke angepaßter Beschaffenheit. In ihrer allgemeinen Bedeutung für den Tastsinn sind diese schon in Kap. X erörtert worden. Abgesehen von der größeren Unterscheidungsschärfe, die sie vor den äußeren Tastempfindungen voraus haben, kommt namentlich auch in Betracht, daß die Bewegung es gestattet, die Hautstellen von der größten Lokalisationsschärfe, wie die Fingerspitzen, sukzessiv mit den einzelnen Teilen eines Gegenstandes in Berührung zu bringen. Darum ist das nächste und wichtigste Tastorgan die Hand, an welcher Daumen, Zeige- und Mittelfinger

[1] C. Spearman, Psychol. Stud., Bd. 1, S. 388 ff.

wiederum als die Haupttastorgane wirken. Mit Daumen und Mittelfinger umfassen wir kleinere Objekte und gewinnen so gleichzeitig durch den passiven Tasteindruck die Vorstellung ihrer Festigkeit, und durch die aktive Konvergenzbewegung beider Finger die ihres Durchmessers; der Zeigefinger tritt dann für die Auffassung feinerer Unterschiede oder zum Zweck der Fixierung eines dritten Tastpunktes in Aktion. Ein Umgreifen des Gegenstandes mit der ganzen Hand liefert endlich noch weitere charakteristische Punkte. Auch bei diesem aktiven Tasten der Hand zeigt es sich aber, daß der Tastsinn, wie er schon bei der passiven Wahrnehmung vornehmlich auf die Unterscheidung distinkter punktförmiger Eindrücke angelegt ist, so auch bei der Tastbewegung immer aus vereinzelten mehr oder weniger punktförmigen Druckempfindungen und den mit ihnen verbundenen inneren Lageempfindungen die Vorstellung eines ganzen Körpers zusammensetzt. Da dies bei einem einmaligen Umgreifen des Gegenstandes nur höchst unvollkommen geschehen kann, so tritt dann zugleich die Bewegung in der Weise ergänzend ein, daß sie eine Reihe sukzessiver Eindrücke hervorbringt. So ist es schließlich nur ein sehr grobes, durch viele leere Zwischenräume unterbrochenes Mosaik von Eindrücken und von sukzessiven Kombinationen solcher, aus denen sich in unserem Bewußtsein die Vorstellung des betasteten Gegenstandes, falls wir diesen nicht gleichzeitig sehen, aufbaut. Gleichwohl ist in allen diesen Fällen die Vorstellung selbst weder eine lückenhafte noch eigentlich eine sukzessive, sondern wir formen uns, wenn auch oft erst nach einigen zuvor ausgeführten Tastbewegungen, ein in dem Moment, wo es entsteht, simultanes Bild des Gegenstandes. Dabei zeigt aber die aufmerksame Selbstbeobachtung, daß dieses Bild in der Tat im eigentlichsten Sinne ein B i l d ist. Denn mit den äußeren und inneren Tastempfindungen verbindet sich unmittelbar ein blasses Gesichtsbild des Gegenstandes, ein Erinnerungs- oder Phantasiebild, welches die Lücken der Tasteindrücke ausfüllt, so daß die Vorstellung als Ganzes betrachtet überhaupt nur eine aus reproduktiven Elementen zusammengesetzte Gesichtsvorstellung ist, die an einzelnen Stellen durch die Verbindung mit Tastempfindungen stärker gehoben wird. Auch bei solchen aktiven Tastwahrnehmungen, bei denen wir außer der Hand noch weitere bewegliche Körperteile, namentlich die Arme zu Hilfe nehmen, wie dies bei der Auffassung sehr großer Gegenstände geschehen kann, oder bei den tastenden Bewegungen der Füße, welche die Gehbewegungen begleiten, verhält sich dies nicht anders. In allen Fällen bleibt beim Sehenden der Tastsinn ein unselbständiger Sinn, der auch da, wo er ausnahmsweise einmal auf sich allein angewiesen scheint, wie beim Tasten in der Finsternis, doch den Gesichtssinn zu Hilfe nimmt, indem er die zerstreuten Tasteindrücke samt den Lage- und

Bewegungsempfindungen der tastenden Glieder immer erst durch die Übertragung in ein, wenn auch noch so unbestimmtes und schattenhaftes Gesichtsbild zu einem Ganzen zusammenfügt. Dabei ist übrigens nicht zu vergessen, daß, wenn wir von einer wechselseitigen Hilfe zunächst der äußeren und der inneren Tastempfindungen und dann der Tast- und Gesichtseindrücke reden, selbstverständlich hier von Absicht und Willkür oder von irgendeiner Überlegung absolut nichts zu finden ist; sondern die Vorstellung entsteht, wenn sie sich auch nachträglich verändern und vervollständigen kann, doch im ganzen ebenso unmittelbar wie eine gewöhnliche Gesichtswahrnehmung.

Bezeichnend für diesen assoziativen Charakter der aktiven Tastvorstellungen sind gewisse Erscheinungen, die man ihrer allgemeinen Richtung nach ebenfalls zu den »Sinnestäuschungen« zu zählen pflegt, die aber wiederum nur eine an sich normale Funktion unter etwas ungewöhnlichen oder irgendwie abgeänderten Bedingungen illustrieren. In erster Linie gehört hierher die von E. H. Weber hervorgehobene Tatsache, daß man beim Tasten mit einem Stock nicht nur in der den Stock haltenden Hand, sondern auch an der Spitze des Stocks, da wo dieser auf einen festen Gegenstand gestoßen wird, eine Empfindung zu haben glaubt[1]. Beachtet man die begleitenden Umstände dieses Versuchs näher, so bemerkt man aber, daß es sich hier eigentlich nur um eine verschiedene Teilung der bei jeder Tastwahrnehmung verbundenen Tast- und Sehbestandteile handelt. In der Hand hat man bloß die Tastempfindung. Doch tritt diese in solchem Fall im Bewußtsein zurück, und als begleitendes Gesichtsbild erscheint nicht, wie sonst, die vom Tasteindruck direkt getroffene Stelle der Hand, sondern das mit dem Stock betastete Objekt. Man könnte also sagen: man tastet in diesem Fall an der Stelle, die den Stock hält, man sieht aber im ergänzenden Phantasiebild die Stelle der äußeren Berührung. Ähnlich wie bei dem Tasten mit dem Stock verhalten wir uns beim Schreiben, Zeichnen, Malen und bei der Arbeit mit jedem beliebigen andern von der Hand beherrschten Werkzeug, wie Hammer, Bohrer, Säge usw., oder auch bei der Berührung der Gegenstände mit den an sich unempfindlichen Anhangsgebilden der Haut, den Zähnen, Nägeln, Haaren. Je komplizierter die ausgeführte Bewegung ist, um so deutlicher pflegt im allgemeinen auch bei weggewandtem Auge das begleitende Gesichtsbild zu sein. Besonders deutlich ist dieses außerdem dann, wenn das von der Hand geführte Werkzeug zugleich zum Messen der Entfernung dient: so z. B. wenn man im Finstern durch Tasten mit dem Stock die Annäherung an eine Wand zu bestimmen sucht. An diese Projektions-

---

[1] E. H. Weber, Tastsinn und Gemeingefühl, S. 483.

täuschungen reiht sich ein alter Versuch, vielleicht das älteste psychologische Experiment, das wir kennen. Es wird in den aristotelischen »Problemen« beschrieben und rührt also wahrscheinlich entweder von ARISTOTELES selbst oder von einem Mitglied seiner Schule her[1]. Man nehme eine kleine Kugel und kreuze auf ihr Mittel- und Zeigefinger einer Hand in der in Fig. 250 dargestellten Weise, so daß die bei gewöhnlicher Lage voneinander abgekehrten Fingerränder einander zugekehrt sind: man hat dann die Vorstellung, zwei Kugeln statt einer zu berühren, ganz so wie das bei gleicher Beschaffenheit der Eindrücke der Fall sein müßte, wenn die Finger ihre normale Lage besäßen. Man faßt also die Eindrücke bloß nach Maßgabe der Tastempfindungen, ohne Rücksicht auf die in diesem Fall abweichenden Lageempfindungen auf. Die nähere Verfolgung der Erscheinung lehrt, daß auch hier die begleitende Gesichtsassoziation unterstützend eingreift. Ist nämlich bei ruhender Berührung der Eindruck der doppelten Kugel undeutlich, so braucht man diese nur unter den Fingern etwas hin und her zu rollen, um ihn sofort zu gewinnen. Dabei tritt dann aber auch stets das Gesichtsbild eines die beiden Scheinkugeln trennenden Einschnitts deutlich in das Bewußtsein. Die gleiche Erscheinung beobachtet man an den Lippen, wenn man die beiden Lippenränder gegeneinander verschiebt und eine Erbse zwischen ihnen festhält: man glaubt dann zwei Kügelchen, eines mit der Ober-, das andere mit der Unterlippe zu berühren[2]. Eine interessante Modifikation der Täuschung ist ferner von DROBISCH[3] beobachtet worden. Bewegt man die gekreuzten Finger mit möglichst nach außen gekehrten Fingerballen an der Innenseite der beiden Stiele eines geöffneten Zirkels innerhalb einer kleinen Strecke hin und her, so erhält man den Eindruck einer der wirklichen entgegengesetzten Richtung der beiden Stiele, so als wenn die Fingerballen EB und FC (Fig. 251) an der Außenfläche eines in entgegengesetzter Richtung geöffneten Zirkels hin- und herglitten, wie dies nach der darüber stehenden mit unterbrochenen Linien gezeichneten Figur dem Eindrucke bei normaler Fingerlage entsprechen würde[4]. Dabei ist die unterstützende Wirkung des begleitenden reproduktiven Gesichtsbildes



Fig. 250. Aristotelischer Versuch.

---

[1] ARISTOTELES, Problemata, 35, 10.

[2] CZERMAK, Wiener Sitzungsber. (3) 1855, Bd. 15, S. 513. O. MENDERER, Psychol. Stud. Bd. 4, S. 85 ff.

[3] DROBISCH, Empirische Psychologie[2], 1898, S. 125.

[4] MENDERER, a. a. O. S. 93 ff.

hier noch deutlicher als bei der ursprünglichen Form der aristotelischen Täuschung. Sie tritt nämlich überhaupt erst ein, wenn man die gekreuzten Finger hin- und herbewegt, und man beobachtet nun wiederum deutlich ein schwaches visuelles Begleitbild. Zugleich kehrt sich in diesem Fall die Erscheinung um, wenn man die gekreuzten Finger an der Außenseite der Zirkelbranchen hin- und herbewegt. In allen diesen Fällen pflegt übrigens mit der objektiven Täuschung über die Beschaffenheit des berührten Gegenstandes eine subjektive über die Lage der berührenden Tastorgane in dem Sinne verbunden zu sein, daß diese Lagetäuschung eine scheinbare Annäherung an die normale Stellung hervorbringt: die gekreuzten Finger scheinen unter einem kleineren Winkel gekreuzt, als

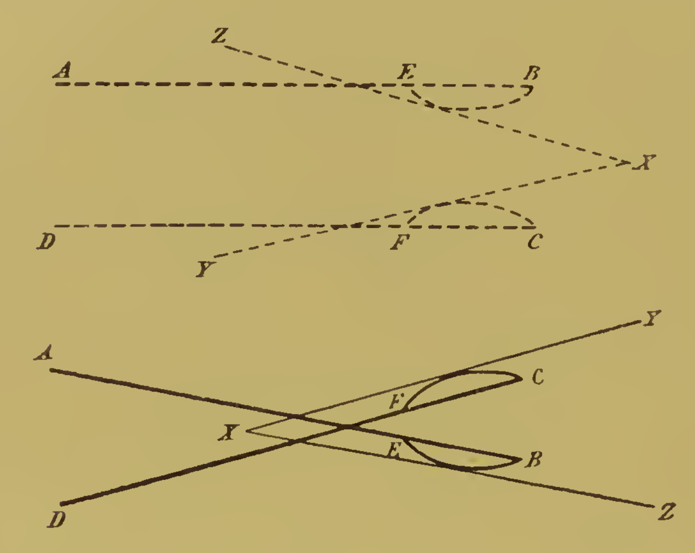


Fig. 251. Winkeltäuschung von DROBISCH (modifizierter aristotelischer Versuch).

sie es wirklich sind, die Lippen bei dem analogen Lippenversuch weniger aus ihrer normalen Lage gebracht, als sie es wirklich tun, und die Größe der Täuschung scheint dieser Differenz zwischen wirklicher und scheinbarer Lage der Tastorgane annähernd parallel zu gehen. Hiernach lassen sich die Bedingungen für die Entstehung der aristotelischen Täuschüng in primäre und sekundäre unterscheiden. Die primäre Ursache besteht in dem assimilativen Einfluß der äußeren Tastempfindungen, gegen den die gleichzeitigen inneren, die Lagevorstellung der Glieder bestimmenden Gelenk- und Muskelempfindungen zurücktreten, ein Hemmungsvorgang, der zugleich in der Unterschätzung der stattfindenden Dislokation sich ausdrückt. Als sekundäres, das erste wesentlich unterstützendes Moment kommt dann dazu die Assoziation mit dem Gesichtsbild, das durch den assimilativ veränderten Eindruck des Objektes erweckt wird. Diese visu-

elle Unterstützung des Phänomens erhellt namentlich aus der von einer Hebung des begleitenden Gesichtsbildes verbundenen Täuschung bei der Bewegung des Tastorgans entlang dem Objekte. Ebenso ist es dafür bezeichnend, daß zwar das Phänomen selbst auch bei Blindgeborenen eintritt, daß aber vor allem bei Erblindeten, in Übereinstimmung mit den fortwährend von ihnen bewahrten reproduktiven Gesichtsbildern, diese visuelle Assoziation in besonderer Lebhaftigkeit beobachtet wird[1].

Wie in diesen Fällen das assoziierte Gesichtsbild die assimilativ erzeugte Vorstellung des Tastsinns zu größerer Deutlichkeit erhebt, so kann nun aber auch umgekehrt eine solche Tasttäuschung auf das assoziierte Gesichtsbild wirken. Man versehe z. B. ein flaches Lineal von etwa $^1/_2$ Meter Länge in der Mitte mit einer Teilungsmarke und teile dann die eine Hälfte der Kante durch schwache Einkerbungen, über die der Finger ohne eine Hemmung gleiten kann, in 2—3 cm Abstand. Bewegt man jetzt den Finger das ganze Lineal entlang kontinuierlich, so erscheint die geteilte Hälfte größer, und die Versuchsperson sieht dieselbe ebenso in der begleitenden Gesichtsassoziation, auch wenn sie das Lineal selbst zuvor nicht wirklich gesehen hat[2]. Nicht minder können die in Kap. X

---

[1] MENDERER, a. a. O. S. 134 f. Noch eine andere zuerst von E. H. WEBER gemachte Beobachtung weist deutlich auf den Einfluß solcher Gesichtsassoziationen. Wenn man einer Versuchsperson einen Buchstaben in großen Zügen auf die Haut schreibt, so ist die Stellung, in welcher der Buchstabe am leichtesten erkannt wird, mit der Hautstelle veränderlich. Auf dem Hinterkopf muß er nach WEBER die gewöhnliche Schriftlage haben (z. B. ┃_|), auf der Stirn muß er aufrecht, aber in umgekehrter Schriftlage (|_┃), auf dem Kreuzbein wieder in gewöhnlicher Lage, aber das obere Ende nach unten gekehrt (┃‾|), und endlich auf dem Bauche muß er in doppeltem Sinne verkehrt stehen (|‾┃). (WEBER, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Kl. 1852, S. 98.) Diese Beobachtungen WEBERS bestätigen sich im ganzen, wenn man sich die Buchstaben auf die eigene Haut schreibt. Doch treten zuweilen schon hier, und noch mehr, wenn Schreibender und Lesender verschiedene Personen sind, Abweichungen hervor, die übrigens individuell konstant zu sein pflegen. Nach Versuchen, die W. CHURCHILL teils im psychologischen Laboratorium teils in der Blindenanstalt zu Leipzig ausgeführt hat, lesen alle Individuen auf der Rückseite des Körpers (Hinterkopf, Nacken, Rücken usw.), vom Standpunkt des Schreibenden betrachtet, in richtiger Schriftlage (┃_|), auf der Vorderseite (Stirn, Wangen usw.) lesen die meisten in Spiegelschrift (|_┃), einige aber richtig; endlich am Bauch und an der Vorderseite der unteren Extremitäten liest ungefähr die Hälfte der Personen in Spiegelschrift und umgekehrt zugleich (|‾┃). In letzterer Beziehung bilden jedoch die Blindgeborenen eine Ausnahme, die fast alle auch hier aufrecht lesen (unter 8 nur ein einziger umgekehrt). Diese Beobachtungen zeigen, daß hier eine zwiefache Assoziation wirksam sein kann: entweder liest man, indem man sich auf den Standpunkt des Schreibenden versetzt: so am Hinterkopf, Rücken usw.; oder vom eigenen Standpunkt aus: so in Konkurrenz mit der vorigen Assoziation an der Vorderseite des Körpers, wo dann der Lesende diesen seinen Standpunkt in das Innere seines Körpers verlegt. Diese wechselnden Beziehungen auf den fremden und auf den eigenen Standpunkt bestehen dann wahrscheinlich sowohl in Assoziationen mit den Schreibebewegungen wie mit Gesichtsbildern. Für den Einfluß der letzteren beim Sehenden spricht namentlich auch das seltene Vorkommen der umgekehrten, zumeist vom eigenen Augenpunkt des Lesenden abhängigen Schriftlage bei Blinden. (CHURCHILL, Philos. Stud. Bd. 1, 1903, S. 478 ff.)

[2] Ebenso beobachtete PARRISH (Amer. journ. of Psychol. vol. 6, 1893, p. 514 ff.), daß eine lineare Strecke länger erschien, wenn ein stärkerer Druck ausgeübt wurde. Da-

(S. 25) erörterten Kraftempfindungen durch ihre Assoziation mit intensiven Veränderungen der äußeren Tastempfindung vermöge jener Wechselbeziehungen, die sich bei Lähmungszuständen der Bewegungsorgane so auffallend geltend machen, normale Sinnestäuschungen herbeiführen. Belehrend ist hier folgender Versuch. Man lasse sich drei Würfel von genau gleicher Größe, aber aus verschiedenem Material, von etwa je 4 cm Kantenlänge anfertigen: den ersten aus steifem Karton, den zweiten aus leichtem Holz, den dritten aus Messing. Umfaßt man nun sukzessiv jeden der Würfel, ohne ihn zu heben, indem man ihn mit Daumen und Mittelfinger im horizontalen Durchmesser umspannt, so gewinnt man den Eindruck, daß die drei Würfel von verschiedener Größe seien: der Kartonwürfel erscheint am kleinsten, dann kommt der Holz- und zuletzt erst der Metallwürfel. Je härter das Material, um so größer erscheint also der Gegenstand. Zugleich ist aber diese Vorstellung mit der andern eines sehr verschiedenen Gewichts der drei Würfel verbunden, obgleich diese nur berührt, nicht gehoben werden. Beide Täuschungen erklären sich unmittelbar aus den assimilativen Beziehungen der Wahrnehmungskomponenten. Je härter der Gegenstand ist, den wir betasten, um so schwerer, und je schwerer, um so größer pflegt er bei gleicher Form zu sein. Wir assoziieren also mit der stärkeren Druck- die intensivere Kraftempfindung, und mit dieser die Vorstellung eines umfangreicheren Objektes, die als ein dunkles Gesichtsbild durch den Tasteindruck reproduziert wird[1].

c. Die Tastwahrnehmungen Blinder.

Man pflegt es als eine ausgemachte Sache zu betrachten, daß beim Blinden der Tastsinn den fehlenden Gesichtssinn ersetzen müsse, und daß er dazu zwar keineswegs vollständig, aber doch infolge der weit vollkommeneren Übung, die er erfahre, wenigstens annähernd imstande sei. Diese Meinung ist jedoch keineswegs zutreffend. Sie *unterschätzt* die Unterstützung, die dem Tastsinn gerade da, wo der Gesichtssinn fehlt, von andern Sinnen, vor allem von dem *Gehörssinn* zu teil wird; und sie *überschätzt* die Wirksamkeit der natürlichen Motive, die auf den

---

gegen fand derselbe, daß die Distanz zweier durch einen leeren Raum getrennter Punkte größer erschien als eine gleiche ausgefüllte Distanz. Weitere Täuschungen, die den ähnlichen im Gebiet des Gesichtssinns entsprechen, werden wir bei diesem im folgenden Kapitel kennen lernen. Vgl. hierher gehörige Erscheinungen bei CH. H. JUDD, Psychol. Rev. Monogr. Suppl. Nr. 29, 1905. PEARCE, ebend. vol. 11, 1904, p. 143. SOBESKI, Täuschungen des Tastsinns. Diss. Breslau, 1903.

[1] Eine Art Umkehrung dieser Würfeltäuschung ist die früher (S. 29) erwähnte Gewichtstäuschung, bei der von zwei Gewichten ungleichen Volums das voluminösere in der hebenden Hand leichter erscheint: das direkte Gewichtsbild erweckt hier reproduktiv eine dunkle innere Tastempfindung, im Kontrast zu welcher dann die wirklich eintretende Tastempfindung durch ihre geringere Stärke überrascht.

Tastsinn vervollkommnend einwirken können. Die Blinden selbst bezeichnen, sobald sie fähig sind, genauere Rechenschaft über sich zu geben, ausnahmslos das Gehör als denjenigen Sinn, mit dessen Hilfe sie sich im Raum orientieren Zudem ist die Erziehung des Blinden von frühe an auf eine feinere Ausbildung des Tastorgans gerichtet, weil er dieser vor allem bedarf, um zu mechanischen Arbeiten sowie zum Lesen und Schreiben der Blindenschrift befähigt zu werden[1]. Auch wo diese vollkommenere Ausbildung des Tastorgans durch Erziehung und eigene Übung entsteht, bewegt sie sich aber zwischen verhältnismäßig engen Grenzen. Der Blinde erreicht durch solche Übung nicht mehr, als der Sehende bei gleichem Aufwand an Mühe erreichen könnte; und an sich ist es nicht sowohl das Sinnesorgan selbst, das sich vervollkommnet, als die besondere Richtung der Aufmerksamkeit und die dadurch vermittelte genauere Auffassung von Unterschieden, die auch in der Tastwahrnehmung des Sehenden nicht fehlen, und nur unter dem dominierenden Einflusse des Gesichtssinnes weniger beachtet werden.

Hiernach vollziehen sich denn auch die Tastwahrnehmungen des Blinden durchaus nicht anders als die des Sehenden. Nur ist naturgemäß der Tastsinn des ersteren, namentlich in bezug auf die aktive Seite der Tastfunktionen, ungleich tätiger, wobei er übrigens die Signale, die seine Aufmerksamkeit auslösen und die Tastfunktionen anregen, in der Regel vom Gehör empfängt. Schalleindrücke verraten ihm zunächst die Nähe von Personen und Gegenständen, mit denen er sich dann durch aktives Tasten in nähere Beziehung setzt. Dies geschieht aber im wesentlichen ganz wie beim Sehenden, wo dieser etwa aushilfsweise das Tasten anwendet: durch Betasten mit dem Finger, durch Umfassen mit der Hand, oder endlich durch Benutzung äußerer Tastmittel, wie des Stocks, und durch jene mannigfachen Bewegungen der Arme, der Füße, die eine umfangreichere, und freilich auch viel unbestimmtere Orientierung bewirken können, als es jene spezielleren Tastorgane in ihrem engeren Bezirk tun. Besonders bei diesen begrenzteren und feineren Tastbewegungen fallen zugleich die überaus schnellen, meist nur leise über die Gegenstände hinstreichenden Bewegungen der tastenden Finger auf, die man wegen ihres scheinbar unwillkürlichen, reflexartigen Charakters als »Tastzuckungen« bezeichnet hat[2]. Sie sind gleichwohl offenbar keine ursprünglichen Reflexe, sondern sie scheinen aus willkürlichen Bewegungen hervorzugehen, die namentlich der mit feineren Arbeiten beschäftigte Blinde ausführt, und die allmählich mechanisch eingeübt werden, so daß sie nun reflexartig

[1] Th. Heller, Studien zur Blindenpsychologie. Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 235 ff.
[2] Czermak, Sitzungsber. der Wiener Akad., 3, Bd. 17, 1855, S. 578 ff.

eintreten, wo immer durch die Einwirkung äußerer Tastobjekte Anlaß dazu gegeben ist.

Ist in allem dem ein wesentlicher Unterschied zwischen den Tastfunktionen des Blinden und des Sehenden, abgesehen von der teils durch die Not erzwungenen teils durch spezifische Erziehungs- und Unterrichtseinflüsse bewirkten Übung des Tastorgans, nicht aufzufinden, so verhalten sich endlich beide auch darin ähnlich, daß bei dem Blinden, sofern die Erblindung nicht vor die oben (S. 479) erwähnte Grenze des vierten oder fünften Lebensjahres fällt, Gesichtsassoziationen fortan die Tasteindrücke begleiten. Der Raum, in dem sich der Erblindete bewegt, auf den er alle seine Tasteindrücke und seine Bewegungen zurückbezieht, bleibt so der Gesichtsraum. Nur sind natürlich die Gesichtsbilder um so unbestimmter, sie entfernen sich um so mehr von den wirklichen Dingen, um sich an zufällige Erinnerungen aus früherer Lebenszeit zu heften, je länger die Erblindung gedauert hat. Wenn ihm eine neue Person oder Sache entgegentritt, so assoziiert daher der Blinde irgend ein anderes, seinem früheren Leben angehöriges oder aus mehreren früheren Eindrücken zusammengesetztes Gesichtsbild, von dessen Ursprung er sich oft gar keine Rechenschaft geben kann. Manchmal ist es der Name oder das aus der Erinnerung bekannte Schriftbild des Anfangsbuchstabens dieses Namens, manchmal der Klang der Stimme oder auch ein ganz zufälliger begleitender Umstand, der zum erstenmal die Assoziation auslöst, die sich dann allmählich befestigt[1]. Man hat solche beliebig assoziierte Vorstellungen der Blinden »Surrogatvorstellungen« genannt[2]. Der Name ist insofern passend gewählt, als solche Vorstellungen für ihn vielfach Surrogate für die von dem Sehenden wirklich wahrgenommenen Objekte bilden. Darum sind die Surrogatvorstellungen des gewöhnlichen, noch in den Erinnerungen an den Sehraum sich bewegenden Blinden ganz vorzugsweise Gesichtsvorstellungen, und nur, wo sich die Ausdrücke für unbekannte Sehobjekte infolge der ihnen von der sehenden Umgebung beigelegten Bedeutung mit starken Gefühlen verbinden, oder wo wegen früher Erblindung die Gesichtswelt überhaupt mehr zurücktritt, gewinnen Surrogatvorstellungen anderer Sinnesgebiete, namentlich solche des Gehörssinnes, eine vorherrschende Bedeutung. Sie bewegen sich dann durchweg in jenen durch den Gefühlston vermittelten »Analogien der Empfindung«, die auch bei manchen für solche Gefühlswirkungen besonders sensibeln

[1] Ein in früher Lebenszeit erblindeter junger Mann erzählte mir, einen Bekannten, dessen Name mit dem Buchstaben V anfange, pflege er sich als geharnischten Ritter mit geschlossenem Visir vorzustellen, weil das V ihn an das Visir eines solchen Ritters in dem Bilderbuch seiner Kinderzeit erinnere.

[2] Hitschmann, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 3, 1892, S. 349 ff. Heller, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 553 ff.

Menschen die Erscheinungen der »Audition colorée« oder ihrer Umkehrung hervorbringen: das Gelb wird etwa von dem Blinden als Klarinette, das Grün als Flöte, das Blau als Violine charakterisiert usw.[1]. Wie diese Erscheinungen nur verstärkte Wiederholungen von Tatsachen sind, die in dem Bewußtseinsleben des vollsinnigen Menschen ebenfalls vorkommen, so sind übrigens überhaupt die Surrogatvorstellungen, insbesondere auch die des Gesichtssinns, kein spezifischer Besitz des Blinden, sondern eine Klasse von Assoziationen, die in jedem Bewußtsein ihr Spiel treibt und nur bei dem Blinden infolge seiner Beschränkung auf einen verhältnismäßig engen Umkreis von Erinnerungsbildern auffallender hervortritt. Auch der Vollsinnige schaltet fortwährend mit »Surrogatvorstellungen«, besonders des Gesichtssinnes. Einen Menschen, den wir niemals weder in Person noch in Abbildungen gesehen haben, eine Romanfigur, eine unbekannte Gegend stellen wir uns immer irgendwie vor; und dieses meistens freilich recht unbestimmte und blasse Bild setzt sich naturgemäß auch beim Sehenden aus irgendwelchen Erinnerungsbildern oder ihren Fragmenten zusammen. Der Unterschied besteht nur darin, daß sich bei dem Blinden solche Erinnerungsbilder den unmittelbar gegenwärtigen Objekten unterschieben, während sie sich beim Sehenden auf entfernte und unbekannte beschränken. Natürlich muß nun aber die Beschaffenheit dieser assoziativen Hilfen des Bewußtseins wesentliche Veränderungen erfahren, falls auch die Erinnerungen an die Gesichtswelt fehlen: beim Blindgeborenen. Hier spielen dann offenbar die Klangassoziationen eine entscheidende Rolle. In den seltenen Fällen der blind und taub Geborenen endlich sind die Surrogatvorstellungen nur in dem Sinne noch möglich, daß umgekehrt der Blindtaube zu den ihm von der sehenden und hörenden Umgebung übermittelten Vorstellungen aus den Tastempfindungen selbst seine Assoziationen gewinnen muß, — eine Vorstellungswelt, zu der uns dann freilich eben wegen dieser der normalen diametral entgegengesetzten Richtung der ergänzenden Assoziationen in unserem eigenen Bewußtsein durchaus die verdeutlichenden Analogien fehlen[2].

Wenn in den geschilderten Erscheinungen, abgesehen von diesen durch die völlige Ausscheidung der Hauptquelle unserer Erinnerungsbilder und durch die Komplikation mit andern Sinnesdefekten wesentlich veränderten Bedingungen, im allgemeinen zwischen der Vorstellungswelt des Blinden und der des Sehenden wesentliche Unterschiede nicht existieren, so verhält sich das aber anders, sobald von dem Tastsinn solche Leistungen gefordert werden, die ihm eigentlich inadäquat sind, weil sie die

[1] Vgl. die von HELLER (a. a. O. S. 560) mitgeteilte Tabelle der Klangassoziationen eines musikalischen Blinden. Über die »Audition colorée« überhaupt siehe oben S. 362.
[2] W. JERUSALEM, Laura Bridgman. 1890, S. 31 ff.

spezifische Feinheit der räumlichen Wahrnehmungen des Gesichtssinnes voraussetzen und daher nur mit erheblichen Einschränkungen und Modifikationen auf den Tastsinn übertragen werden können. Solche Anforderungen treten jedoch regelmäßig erst infolge der Erziehung, die dem Blinden künstliche Ersatzmittel für den fehlenden Gesichtssinn zu schaffen sucht, an den Tastsinn heran. Das pädagogisch-psychologische Problem, das in dieser Beziehung vor allem die völlig abweichende Funktionsweise des Tast- gegenüber dem Gesichtssinne ins Licht setzt, ist das Problem des Lesenlernens. Die Geschichte desselben ist im Grunde nichts anderes als eine lange Geschichte der Überwindung von Vorurteilen, die sämtlich in einer falschen Analogie zwischen Gesichts- und Tastsinn ihre Quelle hatten[1]. Als man zuerst zu Anfang des 19. Jahrhunderts den Plan faßte, die Blinden das Lesen zu lehren, ging man von dem Gedanken aus, daß der Tast- dem Gesichtssinn verwandt sei, und daß es sich daher nur darum handeln könne, die Buchstabenzeichen, deren sich der Sehende beim Lesen bediene, in die gröberen Verhältnisse des Tastsinnes zu übertragen. Man fertigte also Blindenschriften an, die genaue, nur stark vergrößerte, aus vertieften oder erhabenen Linien zusammengesetzte Nachbildungen unserer Buchstabenschrift waren. Dies war in doppelter Beziehung ein Fehlgriff. Erstens ist unsere Schrift, wenn sie sich auch aus gewissen natürlichen Anfängen heraus geschichtlich entwickelt hat, doch ihrem Wesen nach ein konventionelles System von Zeichen. So gut wir dasselbe bei der Stenographie zum Behuf größerer Geschwindigkeit verändern, gerade so gut ist natürlich auch der Blinde, wenn sich für seine Bedürfnisse eine andere Schrift besser eignet, nicht an die Zeichen des Sehenden gebunden. Zweitens aber stand man unter dem Vorurteil, der Tastsinn sei geradeso wie das Auge auf die Wahrnehmung kontinuierlicher Linien angelegt. Merkwürdigerweise hat die Praxis diesen zweiten Irrtum früher als den ersten erkannt: man schuf nun eine »Stachelschrift«, bei der die Linien der Buchstaben durch Reihen erhabener Punkte ersetzt waren, während die Formen der gewöhnlichen Buchstaben immer noch beibehalten wurden. Endlich brach der selbst blinde Lehrer LOUIS BRAILLE auch mit dem ersten dieser Irrtümer. Er schuf zwischen den Jahren 1830 und 1840 die gegenwärtig in allen Blindenanstalten eingeführte und wohl von allen lesenden Blinden benutzte Punktschrift, eine Erfindung, durch

[1] Vgl. die kurze Geschichte der Blindenschrift bei TH. HELLER, a. a. O. S. 441 ff., wo sich auch die weitere Literatur über diesen Gegenstand angeführt findet; außerdem die Mitteilungen über Blindenfürsorge, Blindenunterricht usw. bei M. KUNZ, Kongreßvorträge und Abhandlungen über das Blindenwesen, in dessen Geschichte der Blindenanstalt zu Illzach-Mülhausen i. E. 1907, S. 99 ff. Dazu E. JAVAL (früher Direktor des ophthalmologischen Laboratoriums der Sorbonne), Der Blinde und seine Welt, übersetzt von J. TÜRKHEIM. 1904.

die Braille der größte Wohltäter dieser Unglücklichen geworden ist. Während die früheren Schriftformen nur ein langsames und höchst mühseliges Buchstabieren gestatteten, liest ein geübter Blinder diese Braillesche Punktschrift ungefähr mit derselben Geschwindigkeit, mit der ein im Lesen geübtes normales Kind von zwölf Jahren Gedrucktes liest, und er bedient sich derselben Zeichen zum Ersatz des Schreibens, indem er auf ein mit vertieften Linien versehenes Papier mit einer Stecknadel die Punkte einsticht. Diese eminente praktische Brauchbarkeit, die voraussichtlich dem Brailleschen System seine Erhaltung für die Zukunft sichert, beruht aber darauf, daß dasselbe einerseits genau den spezifischen Eigenschaften des Tastsinnes, anderseits aber nicht minder denen des menschlichen *Bewußtseins* angepaßt ist. Der Tastsinn ist im Gegensatz zum Gesichtssinn, dem Sinn der kontinuierlichen Linien und Flächen, auf die Unterscheidung diskreter, punktförmiger Eindrücke angelegt. Seine Auffassung von Raumformen ist überaus unvollkommen (siehe oben S. 481),

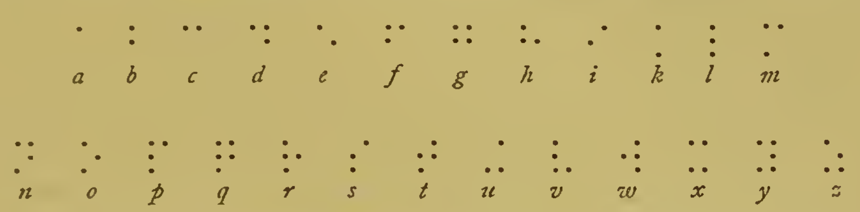


Fig. 252. Die Buchstabenzeichen der Brailleschen Blindenschrift.

seine Unterscheidung von Punkten aber, wie der Webersche Zirkelversuch lehrt, verhältnismäßig genau. Unser Bewußtsein ist ferner, wie wir später (in Abschn. V) sehen werden, derart angelegt, daß wir regelmäßig geordnete Eindrücke leichter als irreguläre wiedererkennen, während zugleich der Erfassung durch die Aufmerksamkeit mit Rücksicht auf die Zahl der simultan zu apperzipierenden Eindrücke ziemlich enge Grenzen gesetzt sind, da im allgemeinen *sechs* die Maximalzahl einzelner gesonderter Eindrücke ist, die wir mit irgendeinem der räumlichen Sinnesorgane, sei es Auge oder Haut, gleichzeitig auffassen können. Nun ist es bewundernswert, wie genau Braille auf Grund seiner lediglich durch die praktische Erfahrung geleiteten Versuche die Verhältnisse getroffen hat, die das psychologische Experiment als die geforderten kennen lehrt. Die Fig. 252 zeigt die Buchstabensymbole des Brailleschen Systems. Die neun ersten derselben dienen gleichzeitig zur Bezeichnung der Ziffern 1 bis 9, wobei nur jedesmal ein spezifisches allgemeines Zifferzeichen (⠼) vorangestellt wird. Die Punkte stehen in solchen Distanzen, daß diese an der Fingerbeere des Zeigefingers deutlich die Raumschwelle überschreiten, während doch die Punkte eines einzelnen Zeichens sämtlich auf derselben Platz

finden. Alle Zeichen sind ferner in dem Sinne regelmäßig angeordnet, daß sie zu der aus 6 Punkten bestehenden regelmäßigen Figur ⠿ gehören. Sehr charakteristisch ist nun die Art, wie der Blinde diese Schrift liest. Er verwendet dazu die beiden Zeigefinger der rechten und der linken Hand: der rechte Finger geht voran und faßt jedesmal in rascher Bewegung eine ganze Gruppe von Zeichen zu einem simultanen Tastbilde zusammen; der linke Finger folgt in jenen rascheren Hin- und Herbewegungen, die man »Tastzuckungen« genannt hat (S. 491). Auf diese Weise ergänzt er Lücken oder verbessert Versehen, die bei dem mehr zusammenfassenden, »synthetischen« Tasten des ersten Fingers geblieben sind. Gleichwohl werden in dem Bewußtsein des geübten Lesers diese beiden Tastbewegungen, die mehr synthetische und die mehr analytische, durchaus nicht unmittelbar, sondern erst bei absichtlicher Selbstbeobachtung des eigenen Tuns unterschieden. Beim gewöhnlichen Lesen hat vielmehr der Blinde ebensowenig ein gesondertes Bewußtsein seiner Tastempfindungen und Tastbewegungen, wie der Sehende seine Wahrnehmungen unmittelbar auf seine Augen bezieht oder die Tätigkeit des rechten und linken Auges sondert. Der seine ganze Aufmerksamkeit dem Objekt zukehrende Blinde nimmt, gerade wie der Sehende, nur das Objekt wahr, und wenn er noch über visuelle Erinnerungsbilder verfügt, so verbinden sich diese unmittelbar in blassen Umrissen mit den Tasteindrücken, während überdies Artikulationsbewegungen in mehr oder minder ausgeprägten Andeutungen, wie bei jedem Lesen, als weitere Komplikationen nebenhergehen. Je mehr Übung im Lesen eintritt, um so mehr fügen sich dann auch sofort die Tastbilder nicht bloß zu Worten, sondern gelegentlich selbst zu Wortgruppen zusammen, indem, wie beim Sehenden, die Lücken, die etwa der unmittelbare Tasteindruck läßt, meist simultan durch reproduktive Elemente ergänzt werden, ohne daß der Lesende selbst von solchen Ergänzungen etwas bemerkt[1].

Sind diese Vorgänge beim Lesen durch die bei ihnen obwaltenden Bedingungen auf die eigene Leistung des Tastsinnes eingeschränkt, so unterscheiden sich nun davon die sonstigen Wahrnehmungsprozesse des Blinden, namentlich sobald sie zu Vorstellungen über Entfernungen und Richtungen im Raum führen, wesentlich dadurch, daß bei ihnen die Mithilfe anderer Sinne, vor allen des Gehörssinns, deutlich hervortritt. Das Geräusch der Schritte einer Person z. B. verrät dem Blinden nicht bloß die Annäherung oder Entfernung derselben, sondern auch die Richtung, in der dies geschieht, wobei freilich namentlich in den Richtungsvor-

---

[1] Vgl. die oben (S. 482) behandelten Assimilationserscheinungen sowie die allgemeine Theorie derselben in Abschn. V, Kap. XIX.

stellungen manchmal erhebliche Irrungen mit unterlaufen. Dazu können ferner infolge von Luftbewegungen oder durch die Reflexion an starren Gegenständen leise Tasteindrücke hinzutreten. Ein bezeichnendes Beispiel solch kombinierter Funktion ist der sogenannte »Fernsinn des Blinden«, d. h. seine Fähigkeit, feste Gegenstände, z. B. eine Wand, schon bei der Annäherung aus einiger Entfernung wahrzunehmen. Manchmal für einen besonderen, mystischen Sinn gehalten, erweist er sich bei näherer Prüfung durchaus als eine durch gleichzeitige Assoziation von Tast- und Gehörseindrücken erfolgende Vorstellungsbildung. Beide wirken in diesem Falle derart zusammen, daß der Blinde zuerst eine Veränderung der Schallfärbung seiner Schritte wahrnimmt, die infolge der Reflexion der Schallwellen an der Wand eintritt: sie ist gewissermaßen ein Signal für die Aufmerksamkeit, worauf nun bei weiterer Annäherung an der Stirn ein leiser Tasteindruck der von der Wand reflektierten Luft empfunden wird. Als daher HELLER den Blinden auf unhörbaren Sohlen gehen ließ, stieß er unfehlbar an. Er stieß aber ebenso gegen die Wand, als ihm die Stirn mit einem Tuch verbunden wurde, das den Tasteindruck beseitigte[1]. Auch in diesen Fällen weiß übrigens der Blinde selbst zunächst gar nichts von jenen Komponenten seiner Fernevorstellung. Die Wand taucht meist unmittelbar als eine mehr oder minder unbestimmte Vorstellung, falls noch Erinnerungsbilder des Gesichtssinnes verfügbar sind als eine dunkle Gesichtsvorstellung, auf, ohne daß sich der Blinde über deren Entstehungsweise Rechenschaft zu geben weiß. Die Elemente dieser Vorstellung sind gleichwohl sämtlich bewußte. In dem Augenblick, wo sie aus dem Bewußtsein verschwinden, z. B. wenn der Schritt unhörbar gemacht oder die Stirn zugebunden wird, verschwindet auch die Vorstellung selbst. Doch indem diese sich bildet, gehen jene Elemente ebenso in ihr auf, wie etwa die leisen Obertöne in der Färbung des Klangs, den sie bilden helfen.

3. Die Vorstellungen der Lage und der Bewegungen des eigenen Körpers.

a. Lagevorstellungen.

Die Vorstellungen der eigenen Lage und Bewegung beziehen sich entweder auf einen einzelnen Körperteil oder auf den Gesamtkörper. In beiden Fällen sind die Lagevorstellungen die relativ einfacheren, da sie stets zugleich die Bewegungsvorstellungen begleiten. Die Empfindungs-

[1] HELLER, a. a. O. S. 544 ff.

komponenten, die an diesen Vorstellungen mitwirken, sind früher (S. 24 ff.) erörtert worden. Alle diese Komponenten, Gelenk-, Haut-, Sehnen- und Muskelempfindungen, verschmelzen derart, daß sie weder sicher getrennt, noch genau einzeln lokalisiert werden können. Indem aber jeder Stellung eines Körperteils ein bestimmtes Verhältnis jener Komponenten entspricht, liegt hierin zugleich die Möglichkeit einer Unterscheidung der verschiedenen Stellungen der Körperteile voneinander und ihrer Beziehung auf bestimmte Richtungen im Raume. Diese hauptsächlich, wie wir sahen, unter dem Einfluß der Gelenkempfindungen zustande kommende Orientierung ist nun zugleich von der jeweils vorhandenen Vorstellung der Lage des Gesamtkörpers abhängig, ebenso wie anderseits die letztere wiederum durch die einzelnen Lagevorstellungen der Körperteile bedingt wird. Von einer für sich bestehenden Lagevorstellung eines Körperteils kann daher immer nur dann die Rede sein, wenn wir dessen Lageverhältnis zu andern Teilen zur isolierten Auffassung bringen; und die Vorstellung der Lage des Gesamtkörpers wird stets dadurch bestimmt, daß die Lage eines einzelnen Teils in ihrer Beziehung zum äußern Raum und zu andern Körperteilen aufgefaßt wird. Hieraus entspringt schon im allgemeinen die Forderung eines dominierenden Körperteils, zu dem die andern durch ihre speziellen Lageempfindungen in ihrer Stellung orientiert sind, indes ihm selbst bei der Orientierung im äußeren Raum die führende Rolle zukommt. Dieser dominierende Teil kann, wie die Selbstbeobachtung im Verein mit der experimentellen Variation der Bedingungen lehrt, wechseln: in den meisten Fällen vermittelt der Kopf, zuweilen aber auch eine andere Körperregion, wie der Rumpf oder das untere Extremitätenpaar, die fundamentale Orientierung, auf die dann alle speziellen Lageverhältnisse bezogen werden. Das Hauptmotiv einer solchen Bevorzugung besteht wahrscheinlich in der Beziehung des Orientierungsorganes zu objektiven räumlichen Wahrnehmungen. Es wird außerdem unterstützt durch die bereits bei den intensiven Gehörsvorstellungen in so ausgeprägter Weise hervortretende Eigenschaft aller Vorstellungsverbindungen, daß gewisse herrschende Empfindungen vorzugsweise apperzipiert werden. Schon der Umstand, daß alle speziellen Sinnesorgane, vor allem das die Hauptorientierung im Raum vermittelnde Seh- und das beim Blinden dieses teilweise ersetzende Hörorgan, am Kopfe vereinigt sind, verleiht hier offenbar dem letzteren einen Vorzug. Der Kopf als Träger des Gesichtssinns ist daher das hauptsächlichste Orientierungsorgan, dem nur in gewissen Fällen, wo es sich um die Orientierung des Gesamtkörpers zur Bodenfläche handelt, bei aufrechter Stellung die unteren Extremitäten, bei stark geneigter oder hängender Lage des Körpers die Tastfläche des Rumpfes zur Seite treten. Da nun jedes der genannten

Orientierungsorgane wieder aus verschiedenen, gegeneinander beweglichen Teilen besteht, so ist die jeweilige Lagevorstellung des dominierenden Teils und demzufolge auch des Gesamtkörpers eine Resultante aus mehreren zum Teil unabhängig variabeln Wahrnehmungskomponenten. Dies zeigt sich besonders deutlich an den Vorstellungen von der Lage des Kopfes, die teils von den die Bewegung der Wirbelsäule teils von den die Augenbewegungen begleitenden Empfindungen abhängen. Die herrschende Rolle unter diesen Empfindungen spielen wieder wegen der unmittelbaren Beziehung des Sehorgans zur Raumanschauung die Augenbewegungen. Selbst bei geschlossenen Augen orientieren wir uns im äußern Raum vorzugsweise nach der Augenstellung. Dies beweisen deutlich die statischen Täuschungen, die bei einer bleibenden Drehung des Kopfes um seine vertikale, horizontale oder sagittale (von vorn nach hinten gerichtete) Achse eintreten. In allen diesen Fällen beteiligen sich die Augen derart an der Drehung, daß, während sich der ganze Kopf bewegt, die Augenmuskeln im selben Sinne wirken und so eine Drehung der Augen über die beabsichtigte Stellung hinaus hervorbringen, wobei, wie DELAGE[1] fand, die Augen durchschnittlich um 15° weiter im Sinne der Drehung von der Ausgangsstellung abweichen als der Kopf. Diese zusammengesetzte Bewegung wirkt nun dergestalt auf die Lagebestimmung des Körpers ein, daß entweder der äußere Raum in gleicher Größe aber entgegengesetztem Sinne wie die Augen, oder der eigene Körper um ebensoviel in gleichem Sinne von der dem Kopf gegebenen Stellung abzuweichen scheint. In beiden Fällen werden offenbar Kopf- und Augenbewegungen nicht unterschieden, sondern, da ihnen ein einziger Empfindungskomplex entspricht, als ein einziger Bewegungsakt aufgefaßt. Im ersten Falle wird aber der Differenzbetrag der beiden Komponenten, die überschüssige Augenbewegung, auf den äußeren Raum, im zweiten Fall wird er auf den Gesamtkörper bezogen. Ändert der Gesamtkörper seine Stellung zur Fußbodenebene, so werden dagegen hauptsächlich die Tast- und Gelenkempfindungen des Fußes und Rumpfes für die Orientierung im Raume maßgebend. Wird z. B. bei geschlossenen Augen der Körper auf einer mit einem Fußbrett versehenen Rückenunterlage in der Medianebene nach hinten geneigt, so werden im allgemeinen kleine Abweichungen von der vertikalen Richtung etwas unterschätzt, größere über 60° überschätzt; und sobald die Fußsohle ihre Unterstützung auf dem Boden verloren hat, wird die Auffassung der Körperlage völlig unsicher[2].

[1] AUBERT, Physiologische Studien über die Orientierung (unter Zugrundelegung von H. DELAGE). 1888, S. 17 ff.

[2] DELAGE-AUBERT, a. a. O. S. 45 ff. Bei einer Neigung von 5° glaubte in DELAGES Versuchen die Versuchsperson noch vertikal zu stehen; bei 60° verschwand der Orien-

Diese Erscheinungen erklären sich wohl daraus, daß nicht bei wirklich vertikaler, sondern bei schwach nach rückwärts geneigter Stellung infolge der hierbei stattfindenden Wanderung der Schwerlinie von vorn nach hinten der Druck auf die Fußsohlen am stärksten ist, und daß er schon lange vor erreichter horizontaler Lage verschwindend klein wird, während der Druck auf die Rückenfläche des Rumpfes hier bereits sein Maximum erreicht hat.

In allen diesen Fällen, wo die Orientierung im Raume hauptsächlich durch Gelenk- und Tastempfindungen zustande kommt, ist es für dieselbe bedeutungslos, ob bestimmte Lageänderungen passiv oder durch aktive Muskelwirkungen entstanden sind. Im letzteren Fall verbindet sich nur, gemäß dem früher (S. 26 ff.) über die Komponenten der Lageempfindung Bemerkten, infolge der Kontraktionsempfindung der Muskeln und der an dieselben gebundenen Gefühle mit der Vorstellung der Lage die weitere einer zur Erhaltung dieser Lage aufgewandten eigenen Anstrengung.

b. Bewegungsvorstellungen.

Die Vorstellung einer Bewegung des Körpers oder einzelner Körperteile kann ebenfalls entweder das Resultat einer ausschließlich durch äußere Kräfte verursachten Ortsveränderung sein oder durch die aktive Anstrengung einzelner Teile entstehen, wie beim Gehen, Laufen, Klettern, Schwimmen usw. Die wichtige Rolle, die bei beiden Arten der Vorstellung dem Gesichtssinn zukommt, kann erst später (in Kap. XIV) berücksichtigt werden. Hier haben wir zu untersuchen, in welcher Weise die Elemente der Tast- und Bewegungsvorstellung für sich allein zureichen, um die Bewegung des Gesamtkörpers zum Bewußtsein zu bringen. Zu diesem Zweck wird es genügen, die Entstehung der passiven Bewegungsvorstellung zu erörtern, da die aktive sich lediglich wieder aus der Vorstellung einer Lageänderung und aus den begleitenden Muskelempfindungen mit den daran geknüpften, den Willensvorgang konstituierenden Gefühlen zusammensetzt. Dabei ist übrigens die aktive Bewegungsvorstellung stets an einzelne Körperteile gebunden, während sich die passive sowohl auf einen einzelnen Teil wie auf den Gesamtkörper beziehen kann.

Unter der Bedingung der Ausschließung des Gesichtssinnes bemerken wir nun, abgesehen von sehr kurz dauernden Bewegungen, die passive

---

tierungsfehler, um dann im entgegengesetzten Sinne so anzuwachsen, daß bei einer Neigung von 120° die Drehung = 180° erschien, so als wenn der Kopf vertikal nach unten gerichtet wäre.

Bewegung in allen den Fällen gar nicht, wo die Translokation mit gleichförmiger Geschwindigkeit geschieht. Namentlich wenn die letztere von mäßiger Größe ist, kann uns sowohl eine dauernde Drehung um die Körperachse wie eine Progressivbewegung bei geschlossenem Auge oder in einem abgeschlossenen Raume, dessen Bewegungen wir mitmachen, völlig entgehen. Dagegen kommt jede Geschwindigkeitsänderung deutlich zum Bewußtsein, sobald sie eine gewisse Größe erreicht, die bei der Drehbewegung erheblich niedriger liegt, als bei der fortschreitenden[1]. Die so entstandene Vorstellung der Bewegung hört aber nicht sofort auf, wenn die wirkliche Bewegung gleichförmig geworden oder zum Stillstand gekommen ist, sondern es bedarf einer gewissen Zeit, bevor die einmal erweckte Vorstellung wieder verschwindet. Diese subjektive Nachwirkung besteht zunächst in einer scheinbaren Verlangsamung der Bewegung in ihrer ursprünglichen Richtung und dann in der Vorstellung einer daran sich anschließenden rückläufigen Bewegung, die sich ebenfalls allmählich verlangsamt und so in die Vorstellung der Ruhe übergeht. Ähnliche Nachwirkungen treten auch bei gleichförmigen Progressiv- oder Drehbewegungen ein, während deren die Vorstellung der Ruhe besteht, namentlich wenn solche Bewegungen plötzlich unterbrochen werden. Im Moment des Stillstandes glaubt man dann, der Körper bewege sich mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit in einer der vorangegangenen entgegengesetzten Richtung, oder der äußere Raum befinde sich in einer dieser Scheinbewegung des eigenen Körpers entgegengesetzten allmählich abnehmenden Bewegung. Bringt man während oder nach der Drehung den Kopf in eine andere Lage, so behält die Achse der Rotation ihre Lage im Kopfe bei, die Drehung des Körpers und der äußeren tastbaren Gegenstände ändert sich daher, obgleich die Stellung der übrigen Körperteile unverändert geblieben ist[2].

Diese Erscheinung ist nun bei der Drehbewegung mit einer im Kopfe lokalisierten Empfindung verbunden, infolge deren man die Vorstellung hat, der Kopf werde im Sinne der Scheindrehung des Körpers gewaltsam gedreht, und mit der sich weiterhin Übelsein und Ohnmachtsanwandlungen verbinden können. Diese subjektiven Wirkungen sind bei den als Nachwirkungen progressiver Bewegung eintretenden Scheinbewegungen ungleich geringer oder sie fehlen ganz, so daß die Bewegungstäuschung zwar in beiden Fällen, das Schwindelgefühl

---

[1] E. Mach, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. 1875, S. 25 ff. Delage-Aubert, a. a. O. S. 90 ff. Nach Delage wird eine progressive Beschleunigung wahrnehmbar, wenn sie 30—40 oder im Minimum 23 cm in 1 s beträgt. Die eben merkliche Beschleunigung bei der Drehbewegung schätzt er auf 1/3 dieser Größe.

[2] Mach, a. a. O. S. 40 ff. Delage, a. a. O. S. 73.

aber, das in eben jenen subjektiven Symptomen besteht, vorzugsweise als Nachwirkung der Drehbewegung auftritt[1].

Die näheren Bedingungen dieser Störungen beweisen, daß auch hier wieder vorzugsweise der Kopf das für die passiven Bewegungen des Gesamtkörpers orientierende Organ ist. Die Lageänderungen unseres Körpers sowie die Beschleunigungen desselben empfinden wir zunächst im Kopfe und meistens erst in sekundärer Weise, infolge spezieller Stoß- oder Druckwirkungen, an andern Körperteilen. Über die Einrichtungen, welche diese Gleichgewichts- und Bewegungsempfindungen des Kopfes vermitteln, besitzen wir aber noch keine zureichende Sicherheit. Wie bei allen Organen, so sind auch hier die Haut-, Gelenk- und Muskelempfindungen, sowie namentlich die Bewegungsempfindungen der Augen von einem gewissen Einflusse. Aus den Augenbewegungen erklären sich insbesondere diejenigen Erscheinungen des Drehschwindels, die sich in Scheinbewegungen des umgebenden Raumes äußern, wie wir bei der speziellen Betrachtung der räumlichen Wahrnehmungen des Gesichtssinnes sehen werden. Aber teils reichen diese Bewegungen nicht aus, um alle auf den eigenen Körper oder den äußeren Raum bezogenen Bewegungstäuschungen zu erklären, teils beweisen die Bewegungsstörungen, die durch den experimentellen Eingriff in die Funktionen anderer im Kopfe gelegener Organe hervorgebracht werden, daß dieser Körperteil außerdem mit einem besonderen Organ versehen ist, das bei der Auffassung der Stellungen und Bewegungen des Kopfes wirksam ist, und durch welches dieser seine Bedeutung als Hauptorientierungsmittel für den Gesamtkörper gewinnt. Dieses Organ ist, wie schon bei der Betrachtung der allgemeinen Sinnesentwickelung hervorgehoben wurde, das Bogenlabyrinth, derjenige Teil des Ohrlabyrinths, der aus den Ampullen mit dem zugehörigen Teile des Vorhofs (utriculus) und den Bogengängen besteht, und den wir entwickelungsgeschichtlich als die letzte Differenzierung jener tonischen Sinnesapparate betrachten dürfen, aus denen auch die spezifischen Gehörorgane hervorgegangen sind (Bd. 1, S. 440 ff., vgl. dazu unten Fig. 253). Bei der Zerstörung einzelner Teile dieses Bogenlabyrinths entstehen, wie zuerst FLOURENS fand, hochgradige Störungen der Bewegung. Bei umfangreicheren Zerstörungen wird diese taumelnd und unsicher; statt gerade nach vorn zu gehen, drehen sich die Tiere nach der der Verletzung entgegengesetzten Seite. Begrenztere Erscheinungen treten ein, wenn ein einzelner Bogengang zerstört wird: es erfolgt dann die Bewegung nicht nur, wie vorhin, in einer der Seite der Verletzung gegenüberliegenden Richtung, sondern auch vorwiegend in der Ebene des verletz-

[1] HITZIG, Der Schwindel (Vertigo). 1898, S. 5 ff.

ten Kanals. Wird der horizontale oder äußere Bogengang (B_1 Fig. 133, Bd. 1, S. 469) getrennt, so pendelt der Kopf in der Horizontalebene; ebenso erfolgen bei Verletzung des vorderen, senkrecht zur Medianebene (B_3) und des hinteren, annähernd parallel der Medianebene gelegenen vertikalen Bogenganges (B_2) jedesmal Pendelbewegungen in der Richtung des verletzten Ganges und nach der Seite der Verletzung, während man zugleich oszillierende Bewegungen der Augen beobachtet[1]. Wird das Bogenlabyrinth auf der einen Seite ganz entfernt, so treten starke Kopfverdrehungen nach der labyrinthlosen Seite ein. Werden beiderseits die Bogenlabyrinthe ausgerottet, so bleiben solche Abweichungen von der Normalstellung aus, aber die Bewegungen werden unsicher, und die Tiere scheinen die Fähigkeit des Drehschwindels verloren zu haben. Ganz diesen Ausfallserscheinungen entsprechen die bei elektrischer, thermischer oder mechanischer Erregung einzelner Labyrinthteile beobachteten Reizungserscheinungen, nur daß dabei die Kopfverdrehungen nach der Seite der Reizung zu erfolgen pflegen[2]. Diese Tatsachen scheinen für die zuerst von GOLTZ[3] geäußerte Vermutung zu sprechen, daß die Bogengänge Sinnesapparate für die Wahrnehmung der Stellungen und Bewegungen des Kopfes seien, wie denn auch die Lage der Bogengänge, deren Ebenen bei den höheren Wirbeltieren den drei durch den Kopf gelegten Hauptebenen annähernd parallel sind, durch diese Annahme eine gewisse Bedeutung gewinnt. Dabei weisen jedoch die meisten Erscheinungen, die bei Reizung oder Verletzung des Bogenlabyrinths eintreten, mehr auf reflektorische Wirkungen als auf den Einfluß bewußter Empfindungen hin. Insbesondere die dauernden Augen- und Kopfverdrehungen lassen annehmen, daß normalerweise von dem Labyrinth eine kontinuierliche Reflexerregung ausgeht, durch die eine beständige motorische Innervation ausgelöst wird. Die Ausfallserscheinungen bei Exstirpation einzelner Labyrinthteile werden dann auf eine partielle Aufhebung dieser dauernden Reflexwirkung, die Reizsymptome auf eine partielle Verstärkung derselben zurückzuführen sein. Übrigens schließt diese Funktion des Bogenlabyrinths als Reflexorgan keineswegs aus, daß dasselbe auch Empfindungen vermittelt, welche wesentliche Komponenten der Vorstellung des Körpergleichgewichts sind, wenn sie auch, wie

[1] FLOURENS, Recherches expér. sur les fonctions du système nerveux[2], p. 446. BREUER, Wiener med. Jahrbücher, 1874, S. 72. 1875, S. 87. BECHTEREW, PFLÜGERS Archiv, Bd. 30, 1882, S. 312. CYON, Recherches sur les fonctions des canaux sémicirculaires. Thèse. 1878.

[2] BREUER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 44, 1888, S. 135 ff. Sitzungsber. der Wiener Akad., 3. Bd. 112, 1903, S. 515. R. EWALD, Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus. 1892, S. 227 ff. KUFFLER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 83, 1901, S. 212.

[3] GOLTZ, PFLÜGERS Archiv, Bd. 3, 1870, S. 172 ff.

alle in inneren Organen entstehenden Empfindungen, nur sehr unvollkommen lokalisiert werden. Hierfür spricht außerdem die Tatsache, daß selbst bei umfangreichen Labyrinthzerstörungen nach längerer Zeit eine Ausgleichung der Störungen einzutreten pflegt, wahrscheinlich indem nun die Bewegungen und Gleichgewichtsstellungen durch die Haut- und Gelenkempfindungen allein reguliert werden, was freilich, wie die fortdauernde Unsicherheit der Bewegungen lehrt, immer nur unvollkommen geschehen kann. Diesen teilweise unter dem Einflusse stellvertretender Regulierung stehenden Bewegungen von Tieren, die seit längerer Zeit des Bogenlabyrinths entbehren, gleichen ferner vollständig die Bewegungen vieler Taubstummer, bei denen mutmaßlich mit dem Gehör auch das Bogenlabyrinth verödet ist. Bei ihnen wird die Orientierung im Raume bei Ausschluß der Augen völlig unsicher, und überdies scheinen solche labyrinthlose Taubstumme dem Drehschwindel nicht ausgesetzt zu sein[1]. Als den in der Ruhestellung des Kopfes wie bei den Bewegungen desselben auf jenes Organ einwirkenden Reiz wird man nun wahrscheinlich den Druck ansehen dürfen, den die in den häutigen Ampullen und Bogengängen enthaltene Endolymphe auf die mit haarförmigen Fortsätzen versehene nervenreiche Membran ausübt. Indem die Verteilung dieser Druckerregungen nach der Stellung des Kopfes wechselt, ändern sich sowohl die Empfindungskomponenten, die sich an der Vorstellung der Kopfstellung beteiligen, wie die Reflexantriebe, die auf eine Ausgleichung stark abweichender Stellungen gerichtet sind. Die bei den Bewegungen des Kopfes oder des Gesamtkörpers entstehenden Strömungen der Endolymphe aber werden sich je nach der Richtung der Bewegung verschieden verhalten und auf diese Weise mehr oder weniger örtlich beschränkte Erregungen hervorbringen. In der Tat fand EWALD, daß künstlich erzeugte Strömungen der Endolymphe bei der Taube ähnlich wie Reizungen des Bogenlabyrinths wirkten, und daß sich bei einer Umkehrung der so hervorgerufenen Strömung auch die Reizsymptome entsprechend veränderten[2].

Wenn uns bloß die zuletzt geschilderten Erscheinungen bekannt wären, so würde nun von vornherein eine doppelte Deutung dieses Organs möglich sein: man könnte es entweder als einen spezifischen Sinnesapparat ansehen, der den übrigen Sinnen als ein neues, eigentümliches Sinnesgebiet, als ein sogenannter »sechster Sinn« gegenüberstünde; oder man könnte in ihm ein Dependenzorgan irgendeines andern Sinnes vermuten,

---

[1] W. JAMES, Americ. journ. of otology, vol. 4, 1882. KREIDL, PFLÜGERS Archiv, Bd. 51, 1892, S. 119 ff. POLLAK, ebend. Bd. 54, 1893, S. 188. BRUCK, ebend. Bd. 59, 1894, S. 16.

[2] EWALD, a. a. O. S. 212 ff.

in dessen Funktionen jene eigentümlichen Störungen mit eingreifen, sei es nun des allgemeinen Tastorgans, sei es, wie das zuerst FLOURENS vermutete, des Gehörorgans. Seit GOLTZ haben sich die Physiologen durchweg für die erste dieser Annahmen ausgesprochen: das Bogenlabyrinth ist ihnen das Organ eines »sechsten Sinnes«, dessen Funktionen von denen der bekannten fünf Sinne spezifisch verschieden seien, und den man, ohne sich übrigens auf die Untersuchung der spezifischen Empfindungen desselben einzulassen, entweder als »statischen Sinn« oder, indem man ihm eine besondere Beziehung zum Muskeltonus anweist, als »tonischen Sinn«, oder aber endlich, indem er als ein auch bei den Raumfunktionen des Tast- und Gesichtssinnes wesentlich ausschlaggebender Sinn betrachtet wird, geradezu als »Raumsinn« bezeichnet. Unter diesen Ansichten hat diejenige, die, in nahem Anschluß an GOLTZ' eigene Auffassung, das Bogenlabyrinth des Menschen und der höheren Tiere nach dem Vorgang von MACH und BREUER als ein »Gleichgewichtsorgan« zunächst des Kopfes und dann durch seine Vermittelung auch des Gesamtkörpers auffaßt, wohl die meisten Vertreter für sich[1]. Sie wird auch meist von denjenigen Physiologen geteilt, die in den Gehörbläschen der niederen Tiere auf Grund der an denselben ausgeführten Versuche keine primitiven Gehörorgane, sondern Gleichgewichtsorgane, »Statozysten« erblicken[2]. Sucht diese Hypothese zunächst der Inkoordination der Bewegungen Rechnung zu tragen, die nach den Operationen am Bogenlabyrinth oder an den ihm äquivalenten Organen der Wirbellosen eintreten, so stellt die zweite die bei den operierten Tieren beobachteten Symptome der Muskelschwäche und den in der Folge auftretenden Muskelschwund in den Vordergrund. In diesem Sinne bezeichnet R. EWALD das Bogenlabyrinth als »Tonuslabyrinth« und die Gesamtheit der ihm äquivalenten primitiven Organe niederer Tiere als »tonische Sinnesorgane«, deren wesentliche Funktion darin bestehe, daß in ihnen die tonischen Erregungen der Muskeln, die zur Erhaltung des Gleichgewichts wie zur sicheren Ausführung der Bewegungen erforderlich sind, reflektorisch ausgelöst werden[3]. Endlich die dritte Hypothese geht auf den allgemeinsten Charakter der beobachteten Ausfallssymptome, auf die mangelnde Orientierung im Raume zurück: sie betrachtet die sogenannten Otozysten sowie das Bogenlabyrinth schlechthin als die Organe des »Raumsinnes«, von dessen Funktionen erst die von den andern Sinnen

[1] E. MACH, Sitzungsber. der Wiener Akademie, 2, Bd. 68, Jan. 1874. J. BREUER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 48, 1890, S. 195 ff. Bd. 68, 1897, S. 596.

[2] J. LOEB, PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 175. A. BETHE, ebend. Bd. 76, 1899, S. 470. TH. BEER, ebend. Bd. 74, 1899, S. 364. Vgl. dazu oben Bd. 1, S. 436 f.

[3] R. EWALD, Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus. 1892, S. 294 ff.

ausgehenden Orientierungen im Raum abhängen, indem dabei stets reflektorische Verbindungen mit jenem spezifischen Raumsinnesorgan in Aktion treten müßten[1].

Wie man sieht, sind alle diese Hypothesen im Grunde nur allgemeine Begriffe, denen man die Symptome von verschiedenen Standpunkten aus subsumiert, und bei denen seit GOLTZ die Voraussetzung festgehalten wird, daß es sich hier um die Funktionen eines eigenartigen »sechsten Sinnes« handle, der von den übrigen ebenso spezifisch verschieden sei, wie es diese, z. B. der Gesichts- und der Gehörssinn, unter sich sind. Nun ist es aber sehr merkwürdig, daß man dabei über diejenige Aufgabe, auf die es doch bei der Untersuchung der Funktionen eines neuen Sinnes vor allen Dingen ankommen sollte, nämlich über die Feststellung der Empfindungsqualitäten desselben, mit völligem Stillschweigen hinweggeht. Zwar ist es ja richtig, daß wir Empfindungen niemals beschreiben, sondern nur unmittelbar erleben können. Immerhin können wir sie bekanntlich mit gewissen Namen belegen, wie grün, blau, rot oder süß, sauer, bitter usw., und darüber Auskunft geben, ob der betreffende Sinn mehrere Sinnesqualitäten umfaßt oder nicht. Auch der sogenannte Muskelsinn, den man früher zuweilen als einen »sechsten Sinn« zu bezeichnen liebte, entbehrte dieses Desiderats nicht, da man unmittelbar auf die die Muskelkontraktion begleitenden Spannungsempfindungen hinweisen konnte. Seitdem wir wissen, daß diese Empfindungen durchaus nicht bloß in den Muskeln, sondern zu einem wesentlichen Teil auch in den Sehnen und namentlich in den Gelenken ihren Sitz haben, und daß sowohl die besonderen Nervenendigungen in diesen wie die qualitativen Eigentümlichkeiten der Empfindungen denen der Druckempfindungen der äußeren Haut ähnlich sind, ist freilich der Begriff des »sechsten Sinnes« in dieser ehemaligen Bedeutung hinfällig geworden. Immerhin hatte derselbe insofern eine gewisse Berechtigung, als demselben wirklich bestimmte Empfindungen zugrunde lagen, die wir nur eben jetzt nicht mehr als spezifische, sondern nur noch als eigentümlich modifizierte Tastempfindungen auffassen. Nun nimmt man wohl vielfach auch bei dem neuen »sechsten Sinn« irgendwelche Empfindungen an. Aber von einer genaueren Fixierung dieser Empfindungen, geschweige denn von der Untersuchung der Frage, wie sich dieselben etwa zu andern, bekannteren Sinnesempfindungen verhalten, ist keine Rede. Man überspringt diese, so viel wir wissen, bei allen Sinnesorganen zur Funktion erforderlichen Mittelglieder, um mittels der Annahme irgendwie ausgelöster Reflexe sofort zu den komplizierten Funktionen überzugehen. »Statisches Organ«, »Tonus-

[1] E. VON CYON, PFLÜGERS Archiv, Bd. 71, 1898, S. 72. Bd. 79, 1900, S. 211.

organ«, »Raumsinnesorgan« sind ja nichts anderes als Ausdrücke für solche komplizierte Funktionen. Werden sie ohne weiteres als Erklärungsgründe der Erscheinungen selbst eingeführt, so ist das eine Anwendung des nämlichen Prinzips der Lokalisation komplexer Funktionen, dessen sich die alte und die neue Phrenologie in der Gehirnphysiologie bedient haben. Denn die Namen »statisches Organ«, »Tonusorgan«, »Raumsinnesorgan« sind inhaltsleer, so lange man nicht darüber Rechenschaft gibt, durch welches Zusammenwirken funktioneller Elemente jene zusammengesetzten Leistungen zustande kommen, deren Störungen wir als Folgen der experimentellen oder pathologischen Eingriffe beobachten. Wenn man sich über dieses Problem nicht mit den Namen des »statischen Sinnes«, des »Raumsinnes« u. dergl., die es mit dem »Tatsachensinn«, dem »religiösen Sinn« und andern Begriffen der alten Phrenologie aufnehmen könnten, hinwegtäuschen will, so treten uns aber bei allen den Symptomen, die wir mit einigem Recht auf das Bogenlabyrinth und die ihm verwandten tonischen Sinnesorgane niederer Tiere zurückführen können, zwei Tatsachen als maßgebende objektive Instanzen für die Beurteilung der Erscheinungen entgegen. Erstens: diese sämtlichen »tonischen Organe« — der Name soll hier, weil er an sich am wenigsten eine bestimmte Hypothese in sich schließt, beibehalten werden — besitzen in der Bedeutung, in der etwa dem Gesichts- und Gehörssinn im Hinblick auf die ihnen eigenen Empfindungen eine spezifische Funktion zugeschrieben werden kann, eine solche überhaupt nicht. Dem blind oder taub Geborenen ist die Welt der Farben oder der Töne für immer verschlossen. Der Taubstumme dagegen, der, wie gewisse Erscheinungen verraten, seines »Tonuslabyrinths« entbehrt, gewinnt mit Hilfe anderer Sinne, namentlich des Tast- und Gesichtssinnes, eine so vollständige Orientierungsfähigkeit im Raume, daß er, so schwer er den Mangel des Gehörs empfinden mag, den dieses Orientierungsorgans kaum zu bemerken scheint. Nicht minder zeigen die experimentellen Erfahrungen, daß sich die durch Verletzungen der Bogengänge bei Tieren erzeugten Störungen nahezu vollständig wieder ausgleichen können. Ein Organ, das in solcher Weise durch andere vertreten wird, kann aber keine spezifische, nur ihm eigentümliche Funktion haben. Zweitens: das tonische Organ steht funktionell in enger Beziehung zu den übrigen Sinnen, und zwar wahrscheinlich zu allen, wie ja diese selbst wieder durch intrazentrale Bahnen verbunden sind. Insbesondere sind es aber die andern räumlichen Sinne, Tast- und Gesichtssinn, bei denen diese Verbindungen in den oben geschilderten Erscheinungen deutlich hervortreten. Daraus ist mit größter Wahrscheinlichkeit zu schließen, daß der tonische Sinn kein für sich isolierbares Vorstellungsgebiet um-

faßt, da er niemals für sich allein Wahrnehmungen des Gleichgewichts und der Bewegungen des Körpers oder gar des Raumes im allgemeinen vollziehen kann, ähnlich wie ja selbst der Sehende niemals durch den bloßen Tastsinn Wahrnehmungen äußerer betasteter Objekte gewinnt, bei denen nicht, auch ohne daß er es will, Assoziationen mit den Vorstellungen des Gesichtssinnes mitwirken. In dem Maße nun, als in dieser Hinsicht das tonische Sinnesorgan offenbar weit mehr noch an eine solche Mitfunktion anderer Sinne gebunden ist, im gleichen wird auch die selbständige, über ein eigenes Empfindungssystem verfügende Existenz eines solchen Sinnes unwahrscheinlich. Vielmehr ist der »tonische Sinn« sichtlich am nächsten dem Tastsinn affiliiert. Er verhält sich zu demselben vielleicht nicht sehr viel anders, als wie sich die Gelenkempfindungen zu den Druckempfindungen der äußeren Haut verhalten. Soweit sich über die Empfindungen urteilen läßt, die bei Neigungen des Kopfes oder beim Drehschwindel im Innern desselben entstehen, und soweit diese Empfindungen sei es ganz sei es teilweise auf Erregungen innerhalb des Bogenlabyrinths zurückgeführt werden können, scheint in der Tat diese Auffassung die nächstliegende zu sein. Wer jene Empfindungen mit irgendwelchen andern vergleichen soll, wird immer wieder auf die Tastempfindungen zurückkommen. Ebenso wie diese subjektiven Beobachtungen dürften aber schließlich die früher eingehend erörterten entwickelungsgeschichtlichen Tatsachen für das nämliche Verhältnis eintreten (Bd. 1, S. 440 ff.). Behalten wir also den Ausdruck »tonische Sinnesorgane« der Kürze halber bei, so scheint alles, was wir über die morphologischen wie über die physiologischen Eigenschaften dieser Organe wie endlich über den psychologischen Charakter der in ihnen ausgelösten Empfindungen wissen, der Auffassung zuzudrängen: *das Bogenlabyrinth und die ihm äquivalenten tonischen Sinnesorgane niederer Tiere* (Otozysten, Statozysten usw.) *sind, soweit die letzteren nicht gleichzeitig Gehörsfunktionen besitzen, Dependenzen des Tastsinnes*, eine Art *innerer* Tastorgane, in dieser Beziehung den Gelenken am nächsten verwandt. An der Entstehung der Lage- und Bewegungsempfindungen des für die Lagevorstellungen des Gesamtkörpers dominierenden Körperteils, des *Kopfes*, in erster Linie beteiligt, stehen sie außerdem mit allen andern für die räumliche Orientierung wichtigen Sinnen, Gehörs-, Gesichtssinn sowie äußeren Provinzen des Tastsinnes, in reflektorischen Verbindungen, die bei den räumlichen Vorstellungen dieser übrigen Sinnesgebiete vielfach in Wirksamkeit treten. Damit ordnet sich nun aber zugleich die Frage nach den Beziehungen der Empfindungen dieser »tonischen Sinnesorgane« der allgemeineren Frage nach der Bildung der räumlichen Tastwahrnehmungen überhaupt unter.

Aus den bei dem Schwindel eintretenden Gleichgewichtsstörungen und Bewegungstäuschungen schloß schon PURKINJE, daß diese Erscheinungen in Einwirkungen auf ein im Kopfe gelegenes Organ ihren Grund hätten. Als dieses Organ betrachtete er das Gehirn[1]. Nachdem dann FLOURENS gezeigt hatte, daß Bewegungsstörungen ähnlicher Art bei Tieren durch Verletzung des Bogenlabyrinths hervorgerufen werden können, war man meist geneigt, entweder mit FLOURENS selbst diese Störungen aus der Entstehung subjektiver Geräusche abzuleiten[2], oder die Vermutung PURKINJES spezialisierend an eine direkt oder indirekt gesetzte Funktionsstörung des Kleinhirns zu denken[3]. In letzterem Sinne leitete auch HITZIG[4] die Schwindelerscheinungen, die bei der elektrischen Durchströmung des Hinterhaupts eintreten, aus der Wirkung auf das Kleinhirn ab. Unter diesen Hypothesen kann angesichts der neueren Untersuchungen nur noch die letzte und auch sie nur für gewisse Fälle und für einen Teil der Erscheinungen in Betracht kommen. Nachdem nämlich B. LANGE[5] gezeigt hat, daß sowohl nach Zerstörungen des Kleinhirns die Labyrinthsymptome, wie umgekehrt nach Herausnahme beider Labyrinthe die Kleinhirnsymptome experimentell hervorgerufen werden können, und nachdem es BREUER und EWALD gelungen ist, beschränkte Reizungen und Exstirpationen am Bogenlabyrinth auszuführen, bei denen an gleichzeitige Kleinhirnverletzungen nicht mehr gedacht werden kann, darf wohl die Auffassung, daß das Bogenlabyrinth selbst zur Bildung der Vorstellungen vom Gleichgewicht und der Bewegung des Körpers in direkter Beziehung stehe, als sicher begründet gelten. Insbesondere ist hier die von BREUER angewandte mechanische Reizung einzelner Teile und die von EWALD ausgeführte Plombierung einzelner Bogen mit oder ohne nachfolgende Exstirpation derselben von entscheidender Bedeutung. Unsicherer ist man über die Beschaffenheit der auf das Organ einwirkenden adäquaten Reize. Während GOLTZ angenommen hatte, jede Ablenkung des Kopfes aus seiner Normalstellung sei von einer Zunahme des Drucks der Endolymphe in der entsprechenden Richtung begleitet, wies zuerst MACH darauf hin, daß bei der Bewegung eines derartigen Kanalsystems notwendig vielmehr zunächst eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung der in ihm enthaltenen Flüssigkeit entstehen müsse, indem diese hinter der Bewegung der sie umschließenden Wände zurückbleibe, worauf dann beim Stillstand die Flüssigkeit allmählich in eine der vorangegangenen Bewegung der Kanäle gleiche Richtung übergehe. Es liegt dann nahe, weiterhin mit EWALD anzunehmen, daß diese Bewegung auf die Haare der Ampullen und Bogengänge

---

[1] PURKINJE, Med. Jahrbücher des österr. Staates, Bd. 6, 1820, S. 79 ff. Mitteilungen der schles. Gesellschaft, 1825 u. 1826. (Letztere Mitteilungen abgedruckt bei AUBERT, a. a. O. S. 116.) Ausführliche Verzeichnisse der sehr reichen Literatur dieses Gegenstandes geben L. W. STERN, Arch. f. Ohrenheilkunde, Bd. 39, 1895, S. 248 ff. und A. KREIDL, Ergebnisse der Physiologie von ASHER und SPIRO, V, 1906, S. 572 ff.

[2] So noch in neuerer Zeit VULPIAN (Leçons sur la physiologie du système nerveux. 1866, p. 600), A. TOMASCEWICZ (Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths. Dissert. Zürich. 1877) und in etwas modifizierter Weise LABORDE (Bulletin de la société d'anthropologie, Décembre 1881).

[3] So BÖTTCHER, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 9, 1875, S. 1. BAGINSKY, Archiv für Physiologie, 1881, S. 201, und 1885, S. 253.

[4] HITZIG, Das Gehirn, S. 196 ff. Vgl. jedoch dessen neuere Schrift: Der Schwindel. 1898, S. 48 ff.

[5] PFLÜGERS Archiv, Bd. 50, 1891, S. 615 ff.

einwirkt und so die Reizung der nervenreichen Labyrinthhaut vermittelt. Auch scheint die Beobachtung EWALDS, daß künstlich erzeugte Strömungen der Endolymphe je nach ihrer Richtung entgegengesetzte Kopfbewegungen hervorrufen, diese Annahme zu bestätigen[1]. Abgesehen von den bei der Bewegung eintretenden Erregungen durch den rückläufigen Strom der Endolymphe muß aber auch eine beständige Erregung aller Teile des Bogenlabyrinths angenommen werden, um die nach partiellen Verletzungen eintretenden Gleichgewichtsstörungen zu erklären. Zugleich machen diese letzteren die Annahme DELAGES, daß das Bogenlabyrinth nur an der Vorstellung der Drehbewegung, nicht an derjenigen der Progressivbewegung beteiligt sei[2], wenig wahrscheinlich. Ebenso findet die Ansicht MACHS, die Bogengänge seien das die Wahrnehmung der Drehung, der Vorhof das die Wahrnehmung der Progressivbeschleunigung vermittelnde Organ, in den der Verletzung der einzelnen Bogengänge folgenden Erscheinungen kaum eine Stütze. Vielmehr machen es diese wahrscheinlich, daß die Vorhofsabteilung der Ampullen und die Bogengänge ein gemeinsam funktionierendes Organ bilden, wobei aber die Bogengänge durch ihre Richtungsunterschiede vorzugsweise für die Orientierungsempfindungen maßgebend sind. Auf diese Beziehung zu den Richtungen des Raumes scheint schon die anatomische Tatsache hinzuweisen, daß die Bogengänge zusammen eine Art von geometrischem Koordinatensystem bilden, das sich einem regelmäßig rechtwinkeligen gerade bei den Tieren mit vollkommenstem räumlichem Orientierungsvermögen am meisten nähert. Dem Menschen überlegen sind in dieser Beziehung viele Vögel, z. B. die Tauben, unter denen besonders die Varietät der Brieftauben durch ihre oft staunenswerten Leistungen bekannt ist, und bei denen übrigens neben der Gesichts- auch die Geruchsempfindlichkeit eine Rolle zu spielen scheint[3]. Denkt man sich bei der Taube durch die drei Bogengänge jederseits Ebenen gelegt, so nehmen diese bei genau horizontaler Richtung des Kopfes die in dem Schema der Fig. 253 angedeuteten Richtungen ein. Der Apparat erscheint hier von hinten gesehen: *R* bezeichnet also den der rechten, *L* den der linken Seite. Die sogenannten äußeren Bogengänge liegen horizontal und genau in gleicher Ebene (*E*). Die Ebenen des vorderen Kanals (*A*) und des hinteren (*P*) sind so gestellt, daß sie wechselweise einander rechts und links parallel sind, also *AR* dem *PL*, *PR* dem *AL*, während sie zugleich in die Medianebene verlängert gedacht einen Winkel von ziemlich genau 45° miteinander bilden.

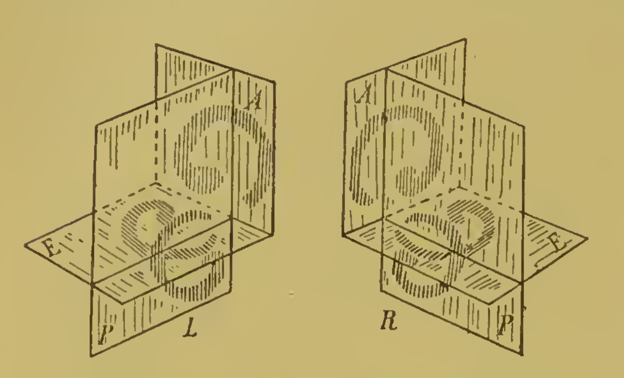


Fig. 253. Schema des Systems der Bogengänge bei der Taube, nach R. EWALD.

[1] EWALD, a. a. O. S. 301.
[2] DELAGE, a. a. O. S. 92 ff.
[3] S. EXNER, Sitzungsber. der Wiener Akademie, 3, Bd. 114, 1905, S. 763 ff. G. H. SCHNEIDER, Zeitschr. für Psychol. Bd. 40, 1905, S. 252 ff. E. VON CYON, PFLÜGERS Archiv, Bd. 79, 1900, S. 243.

Somit bestimmen die sechs Bogengänge zusammen geometrisch annähernd genau drei zueinander senkrechte Ebenen im Raum[1]. Von dieser fast vollkommenen geometrischen Regelmäßigkeit weichen immerhin die Verhältnisse beim Menschen und bei den meisten andern Tieren erheblich ab (Bd. 1, Fig. 116, S. 444), vor allem bei den Wirbellosen mit ihren einfachen Statozysten. Doch mag hier die Verteilung dieser Gebilde über mehrere Körperteile einen Ersatz für die komplexe Beschaffenheit des einheitlichen Organs der höheren Tiere bilden[2]. Bemerkenswert ist aber noch die mächtige Entwickelung der Bogengänge bei den meisten Fischen, die anderseits nur die rudimentäre Andeutung einer Schnecke besitzen, und die in der Tat auch auf Schall nur sehr unsicher reagieren, so daß sie von vielen Beobachtern überhaupt für taub gehalten werden, während sie meist ein sehr vollkommenes Orientierungsvermögen besitzen. Eine Ausnahme bilden nur die Petromyzonten und Myxinoiden, von denen die ersteren zwei Bogengänge, die letzteren sogar bloß einen besitzen. Sie sollen sich aber auch durch eine abweichende Bewegungsweise und unvollkommenere Orientierungsfähigkeit auszeichnen. Noch auffallender ist ein solcher Zusammenhang bei der mehrfach untersuchten japanischen Tanzmaus, einer Varietät der weißen Maus, bei der eine erbliche, durch Züchtung entstandene Verkümmerung und ein irregulärer Verlauf der Bogengänge besteht. Ihren Namen führen diese Tiere von ihren fortwährenden heftigen Kreisbewegungen. Auch können sie sich nicht geradlinig, sondern nur in Zickzacklinien vorwärts bewegen. Sie sind entweder ganz oder nahezu taub und nach Versuchen auf der Drehscheibe scheinen sie dem Schwindel, gleich vielen Taubstummen, unzugänglich zu sein[3]. Wahrscheinlich beruht die ebenfalls durch auslesende Züchtung entstandene Bewegungsweise der sogenannten »Purzeltauben« auf ähnlichen Ursachen.

Geht man von der allgemeinen Annahme aus, daß das Bogenlabyrinth ein zunächst dem Tastsinn zugeordneter Sinnesapparat sei, so bleiben nun natürlich, ebenso wie bei allen andern Sinnesorganen, noch verschiedene Funktionsweisen desselben möglich. Teils kann es Empfindungen vermitteln, die bei der Vorstellung des Gleichgewichts und der Bewegung des Kopfes mitwirken, teils kann es reflektorische Erregungen auslösen, durch welche die Muskeln zur Erhaltung des Körpergleichgewichts innerviert werden. Im letzteren Sinne haben im allgemeinen sowohl Ewald wie die Vertreter der statischen Hypothese die Ergebnisse der Versuche gedeutet. Die Auffassung des Bogenlabyrinths als eines Sinnesorgans schließt jedoch, in welcher Weise man sich dieses auch denken möge, prinzipiell eigentlich immer die Annahme ein, daß es sowohl Empfindungen wie Reflexbewegungen oder dauernde reflektorische Spannungen vermitteln könne. Auch scheint dies gerade durch die Beobachtung der Erscheinungen des Schwindels bestätigt zu werden, da die subjektiven Empfindungen hierbei weder aus den äußeren Tastempfindungen noch aus den Bewegungsempfindungen der Augen vollständig erklärt werden können. Überdies begreift sich die oben erwähnte Kompensation der Störungen

---

[1] Ewald. Über das Endorgan des Nervus octavus, S. 78.

[2] A. Fröhlich, Pflügers Archiv, Bd. 102, 1904, S. 415. Bd. 103, S. 149 ff.

[3] Rawitz, Archiv für Physiologie, 1899, S. 236. Cyon, Pflügers Archiv, Bd. 79, 1900, S. 212. Alexander und Kreidl, ebend. Bd. 82, 1900, S. 541. Zoth, ebend. Bd. 86, 1901, S. 147.

am einfachsten dann, wenn man annimmt, daß für gewisse in Wegfall gekommene Empfindungen andere, die ebenfalls mit der Stellung und Bewegung des Körpers gesetzmäßig zusammenhängen, vikariierend eintreten, und aus denen sich dann allmählich infolge der Einübung neue reflektorische Verbindungen bilden. Faßt man das Bogenlabyrinth, wie oben geschehen, nach seinen genetischen Beziehungen und nach der Beschaffenheit der besonders beim Schwindel zu beobachtenden Empfindungen als inneres Tastorgan auf, so ergibt sich dann aber von selbst, daß es als solches zunächst zum Kopfe gehört, von dessen Stellungen und Bewegungen seine sensorischen und reflektorischen Erregungen abhängen, wie denn insbesondere die Augenbewegungen sichtlich einerseits in der Retina, anderseits in dem Bogenlabyrinth ihre hauptsächlichsten peripheren Reizgebiete haben[1]. Bei dem Einflusse, den der Kopf als Orientierungsorgan auf die übrigen Körperteile ausübt erklärt es sich aber, daß die Störungen der Orientierung desselben auf diese zurückwirken. Überdies wird, wie bei jeder Provinz des äußeren Tastorgans, so auch hier eine umfangreiche durch Leitungen zweiter Ordnung vermittelte Reflexverbindung mit den übrigen Körperorganen, namentlich mit den für die Stellungen und Bewegungen des Körpers neben dem Kopfe hauptsächlich wirksamen anzunehmen sein. Als dasjenige Zentralgebiet, von welchem alle diese Reflexverbindungen des Tastnervenanteils des sogenannten Hörnerven ausgehen, ist hierbei, abgesehen von den Verbindungen mit dem Kleinhirn, wohl die Medulla oblongata anzusehen[2].

4. Räumliche Gehörswahrnehmungen. Raumassimilationen disparater Sinneseindrücke.

Unsere Schallvorstellungen empfangen ihre räumliche Beziehung erst vermöge der Existenz eines Bildes der Außenwelt, in das sie eingetragen werden. Dieses Bild ist beim Sehenden und zumeist auch noch beim Erblindeten der Gesichtsraum, beim Blindgeborenen oder früh Erblindeten der Tastraum. Die Existenz eines besonderen Hörraumes, der von der qualitativen Beschaffenheit und räumlichen Ordnung der Gesichts- oder Tastempfindungen unabhängig wäre, ist demnach eine Fiktion, die durch das unmittelbare Zeugnis jeder Art räumlicher Lokalisation widerlegt wird. Die Lokalisation der Gehörseindrücke kann also auch nur insofern Gegenstand der Untersuchung sein, als darüber Rechenschaft zu geben ist, auf welche Weise die Schallvorstellungen in jenem gegebenen Raumbilde lokalisiert werden. Diese Lokalisation kann aber in zwei Vorstellungen zer-

---

[1] Dementsprechend fand auch Kreidl (a. a. O. S. 131), daß bei annähernd 50% von ihm untersuchter Taubstummer die bei der Drehung um die Körperachse zu beobachtenden Augenbewegungen fehlten. Bei den nämlichen Taubstummen fehlten die bei normalen Menschen im Drehschwindel regelmäßig zu beobachtenden Ablenkungen der scheinbar vertikalen Geraden von der wirklichen Vertikalen. (Vgl. unten Kap. XV.)

[2] Ewald, a. a. O. S. 284 ff. Bechterew, Die Leitungsbahnen im Gehirn und Rückenmark, S. 361 ff.

legt werden: in die der Richtung des Schalls, und in die der Entfernung der Schallquelle, aus welchen beiden Faktoren dann noch die freilich meist sehr unbestimmte Vorstellung eines Schallorts hervorgehen kann.

Auf die Vorstellung der Richtung des Schalls scheint die relative Intensität der Schallempfindung einen gewissen Einfluß zu haben. Da das äußere Ohr als ein Schallbecher wirkt, welcher die von vorn kommenden Schallwellen aufsammelt, so sind wir geneigt, Eindrücke von bekannter Stärke dann nach vorn zu verlegen, wenn sie stärker empfunden werden. Wenn man daher das äußere Ohr am Kopfe festbindet und eine künstliche Ohrmuschel umgekehrt vorsetzt, so kann, wie ED. WEBER fand, der von hinten kommende Schall irrtümlich nach vorn verlegt werden[1]. Bei diesem Versuch wirken übrigens wohl auch Tastempfindungen mit. Da die Teile der Ohrmuschel eine sehr feine Druckempfindlichkeit besitzen, die vorn durch zarte Härchen noch vergrößert ist, so werden sich besonders bei stärkeren Schalleindrücken die Tastempfindungen auf beiden Ohrmuscheln je nach der Schallrichtung verschieden verteilen. Neben ihnen scheinen dann aber noch Empfindungen, die an die Schwingungen des Trommelfells gebunden sind, maßgebend zu sein. Hierfür spricht namentlich die Beobachtung, daß rechts und links bei viel geringerer Schallstärke unterschieden werden als vorn und hinten, sowie daß bei den von vorn kommenden Schallstrahlen die genaueste Richtungsunterscheidung stattfindet[2]. Der Verschluß des einen Ohres stört ferner die Lokalisation. Diese ist somit in erster Linie eine Funktion des binauralen Hörens, worauf auch der Umstand hinweist, daß dieselbe dann besonders deutlich ist, wenn gewisse Partialtöne des Schalls durch die Resonanz im Gehörgang verstärkt werden[3]. Zugleich hängt damit wahrscheinlich die Erscheinung zusammen, daß Geräusche, in denen in der Regel hohe, resonanzgebende Obertöne enthalten sind, genauer lokalisiert werden als einfache Klänge. Übrigens werden auch hier Tastempfindungen bei der Unterscheidung mitwirken, indem, abgesehen von den Tastempfindungen des äußeren Ohres, vermutlich auch die Schwingungen des Trommelfells sowie die Kontraktionen des Trommelfellspanners empfunden werden[4]. Eine Lokalisation im Innern des eigenen

[1] ED. WEBER, Berichte der kgl. sächs. Ges. der Wiss. zu Leipzig. Math.-phys. Kl. 1851, S. 29. KESSEL, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 18, 1882, S. 123 ff.

[2] Lord RAYLEIGH, Phil. Mag. (5) vol. 3, 1877, p. 455. J. VON KRIES, Zeitschrift für Psychologie und Physiologie d. S. Bd. 1, 1890, S. 235 ff.

[3] STEINHAUSER, Phil. Mag. (5) vol. 3, 1879, p. 181.

[4] ED. WEBER (a. a. O. S. 30) fand daher, daß die Lokalisation ungenau wurde, wenn er die Ohrenkanäle mit Wasser füllte. Ebenso fand PREYER (PFLÜGERS Archiv, Bd. 40, 1887, S. 586 ff.) bei fehlendem Trommelfell zwar nicht Aufhebung, aber doch Abnahme

Kopfes beobachtet man bei den früher (S. 112) erwähnten binauralen Schwebungen zweier auf beide Ohren verteilter Stimmgabeln von geringem Unterschied der Schwingungszahl. Dabei werden die Schwebungen genau in der Mitte des Kopfes lokalisiert, wenn beide Töne gleich stark sind, und sie wandern in dem Maße seitwärts, als der Ton der gleichen Seite an Stärke zunimmt[1]. Auch hier muß die Lokalisation wohl hauptsächlich auf die gleiche oder ungleiche Verteilung der Trommelfellschwingungen zurückgeführt werden. Nur bei stärkeren Tönen dürften außerdem noch die Schwingungen der Kopfknochen mitwirken. Dieser Versuch zeigt zugleich, daß solche Tastempfindungen des Trommelfells, obgleich sie selbst jedenfalls nur sehr schwach empfunden werden, doch durch die Assoziation mit dem Tast- und Gesichtsraum eine deutliche Ortsvorstellung erwecken können. Dabei gehört aber diese ganz dem assoziierten Raumbilde an, daher der Ort, in den die Schwebungen verlegt werden, von dem Ort der die Assoziation auslösenden Tastempfindungen selbst völlig verschieden ist.

Noch unbestimmter als die Richtungs- ist in der Regel die Entfernungslokalisation. Sie setzt nicht bloß, wie jene, die Assoziation mit dem durch Tast- und Gesichtssinn gegebenen Raumbilde, sondern außerdem speziellere Assoziationen mit geläufigen Schallvorstellungen voraus. Versagen diese, so fehlt sie entweder ganz oder ist von zufälligen Vorstellungsbildungen abhängig. Eine annähernd richtige Entfernungslokalisation kommt daher nur bei Schalleindrücken von bekannter Stärke vor, wo der Ort der Schallquelle in um so größere Entfernung verlegt wird, je geringer seine Empfindungsstärke ist; doch bleibt jene selbst in diesem Fall äußerst unbestimmt, und läßt sich durch willkürliche oder zufällige Lenkung der Aufmerksamkeit in hohem Grade beeinflussen. Die bekannten Täuschungen bei den Leistungen der Bauchredner beruhen durchaus auf solchen Einflüssen.

In die Einflüsse, denen die Vorstellungen über Richtung, Entfernung und Ort einer Schallquelle unterworfen sind, greift nun aber noch eine andere, allgemeinere Wirkung ein, die überall da entsteht, wo überhaupt disparate Sinnesreize, die einer Lokalisation fähig sind, gleichzeitig oder in rascher Sukzession gegeben werden. Es liegt von vornherein nahe, anzunehmen, daß solche Influenzwirkungen disparater Sinnesreize für die Schallerregungen von besonderer Bedeutung sein müßten, da deren Orts-

---

der Lokalisationsfähigkeit. Den nämlichen Erfolg wie bei WEBERS Versuch sah SCHMIDEKAM (Exper. Studien zur Physiologie des Gehörorgans. Dissert. Kiel. 1868, S. 15) eintreten, wenn das Trommelfell von einem Luftraum umgeben blieb; doch werden auch hierbei wahrscheinlich die Schwingungen bis zu einem gewissen Grade gehindert.

[1] URBANTSCHITSCH, PFLÜGERS Archiv, Bd. 24, 1881, S. 579. K. L. SCHÄFER, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 1, 1890, S. 300.

bestimmung überhaupt nur in der Form ihrer Eintragung in ein disparates Sinnesgebiet, sei es in das des Gesichtsraumes oder, in selteneren Fällen, in das des Tastraumes, erfolgt. Beidemal wird also die Influenz eigentlich wiederum nur eine Wechselwirkung zweier Gesichts- oder zweier Tastlokalisationen sein, indem das durch den Schall erregte Raumbild in seiner visuellen oder taktilen Einordnung entweder durch ein räumliches Gesichtsbild oder durch ein räumliches Tastbild beeinflußt wird. Daraus ist nun freilich nicht zu schließen, die Schalllokalisation sei etwa absolut genommen die am meisten bestimmbare, sondern es tritt hier ein anderes Moment als das entscheidende hervor: es besteht in dem Grade, in welchem ein Sinnesgebiet einen die Apperzeption der ihm angehörigen Reize bestimmenden Einfluß ausübt. Hier aber zeigen es nun die direkt über diese Frage angestellten Versuche von O. KLEMM, daß bei den drei für das Lokalisationsproblem vorzugsweise in Betracht kommenden Sinnesgebieten nicht die Reihe Licht, Druck, Schall, sondern Licht, Schall, Druck mindestens bei dem über die drei Sinne verfügenden vollsinnigen Menschen die relative Energie bezeichnet, mit der jeweils der in der Reihe voranstehende Reiz einen ihm in der Reihe folgenden beeinflußt oder ihm einen die Dislokation hindernden Widerstand entgegensetzt. Zugleich ist diese Wirkung stärker, wenn die disparaten Reize simultan, als wenn sie sukzessiv gegeben werden, während die Raumschwelle der disparaten Reize unter allen Umständen größer ist als die der homogenen. Jeder Sinnesreiz übt demnach eine Attraktion auf einen gleichzeitig oder unmittelbar nachher einwirkenden disparaten Reiz aus, und dabei ist die Wirkung von Licht auf Schall oder Druck stets der von Schall oder Druck auf Licht, die von Schall auf Druck der von Druck auf Schall überlegen. Hiernach sind diese Erscheinungen offenbar jenen assimilativen räumlichen Wirkungen verwandt, die uns oben bei der Lokalisation homogener Reize des Tastsinns begegnet sind, wo mehrere vorausgehende Lokalisationen am gleichen Ort und ebenso in der unbestimmten Vorstellung eines Körperglieds die das ganze vertretende Mitte des Gliedes attrahierend auf jede beliebige Lokalisation einwirkte (S. 483). Nur ist bei der wechselseitigen Beeinflussung disparater Reize daneben der jedem Sinnesgebiet eigene Apperzeptionswert, d. h. seine größere oder geringere Bevorzugung durch die Aufmerksamkeit von maßgebendem Einfluß. Wegen dieses letzteren Momentes werden uns die hierher gehörigen Erscheinungen neben den ihnen verwandten bei der Wechselwirkung zeitlicher Eindrücke noch unten, bei der Erörterung der Aufmerksamkeitsphänomene, beschäftigen[1].

[1] O. KLEMM, Psychol. Stud. Bd. 5, S. 23 ff. Vgl. unten Abschn. V.

Die Frage, ob die Richtungslokalisation des Schalls eine direkte, in analoger Weise an die Schallempfindungen gebundene sei, wie die räumlichen Vorstellungen des Gesichts- und Tastsinns an die Licht- und Tastempfindungen, oder ob sie, wie oben ausgeführt, nur mittels indirekter Motive zustande komme, ist mehrfach erörtert worden. Die Hypothese einer direkten Richtungslokalisation hat wohl zuerst S. P. THOMPSON[1] vertreten. Er nahm eine unmittelbare Wahrnehmung der akustischen Parallaxe an, ohne im übrigen bestimmte physiologische Hilfsmittel zu Hilfe zu nehmen. Letzteres geschah dann in den Theorien von PREYER[2] und MÜNSTERBERG[3]. Für die Annahme PREYERS, daß den Ampullen der Bogengänge die Funktion zukomme, die Wahrnehmung bestimmter Schallrichtungen zu vermitteln, liegt jedoch in seinen eigenen Versuchen kein Beweis, da diese lediglich die oben erwähnten Unterschiede in der Genauigkeit der Richtungslokalisation bestätigen, die sich aus der Tastfunktion der Ohrmuschel und des Trommelfells ableiten lassen. Das nämliche gilt von MÜNSTERBERGS Hypothese, nach der Muskelempfindungen, welche die im Ampullenapparat reflektorisch ausgelösten Kopfbewegungen begleiten, die Schalllokalisation vermitteln sollen. Die eigenen Versuche MÜNSTERBERGS über die Unterschiedsempfindlichkeit für die Richtungslokalisation widerlegen, wie TITCHENER[4] bemerkt hat, diese Hypothese, da sich aus ihnen z. B. ergibt, daß in der Ruhestellung des Kopfes mit gerade nach vorn gerichtetem Blick sehr viel kleinere Verschiebungen der Schallrichtung in horizontaler als in sagittaler Richtung erkannt werden, was sich leicht aus dem Einfluß der Ohrmuschel, aus Bewegungsreflexen aber kaum erklären läßt. Neigt nun aber auch die Mehrzahl der Beobachter der Annahme zu, daß die Schalllokalisation eine indirekte sei, also aus irgendwelchen begleitenden Merkmalen der Empfindungen entspringe, so bestehen doch über die Bedingungen dieses Lokalisationsprozesses noch mannigfache Unterschiede der Meinungen. Sie beziehen sich namentlich auf die Frage, ob bloße Intensitätsunterschiede, oder ob, wie zuerst MACH[5] annahm, gleichzeitig qualitative Unterschiede der Klangfärbung als Merkmale der Ortsunterscheidung wirksam seien. Zur Stütze der letzteren Annahme läßt sich anführen, daß Intensitätsänderungen des Klangs an und für sich mit Änderungen der Klangfarbe verbunden sind, da bei abnehmender Stärke die tieferen, bei zunehmender die höheren Partialtöne mehr hervortreten. Außerdem hat man aber hier das negative Argument geltend gemacht, daß bei Verlust des äußeren Ohrs Entfernungs- und Richtungslokalisation, im Widerspruch mit ED. WEBERS oben erwähnten Versuchen, anscheinend unverändert fortbestehen können, und daß sich das gleiche bei Individuen beobachten läßt, die das eine der beiden Ohren vollständig eingebüßt haben[6]. Lassen diese Beobachtungen kaum zweifeln, daß Unterschiede

---

1 S. P. THOMPSON, Phil. Mag. (5), vol. 13, 1882, p. 406 ft.

2 PFLÜGERS Archiv, Bd. 40, 1887, S. 586 ff.

3 Beiträge zur exper. Psychologie, S. 182 ff.

4 Mind, vol. 16, 1891, p. 526.

5 MACH, Sitzungsber. der Wiener Akademie, 3, Bd. 50, 1864. POGGENDORFFS Annalen, Bd. 76, 1865, S. 313.

6 ANGELL and FITE, Psych. Review, vol. 8, 1901, p. 225 ff. Die Erhaltung der Schalllokalisation bei einem monotischen Individuum bestätigte O. KLEMM, wie er mir mitteilt, weiterhin in Versuchen, in denen die infolge der Entfernungsänderung eintretenden Intensitätsunterschiede der Schallreize so kompensiert wurden, daß sie subjektiv an Inten-

der Klangfärbung bei der Schalllokalisation eine mitwirkende Rolle spielen, so können nun aber diese teils selbst wieder nach den allgemeinen Beziehungen zwischen Klangstärke und Klangfärbung Wirkungen der Intensitätsunterschiede sein, teils scheinen sie noch durch andere, von der Schallstärke unabhängige Bedingungen verursacht zu sein. Möglicherweise könnte dabei an abweichende Resonanzverhältnisse der Schädelknochen je nach Richtung und Ausbreitung der Schallwellen gedacht werden. Selbstverständlich wird man das äußere Ohr deshalb nicht als bedeutungslos für die Schalllokalisation betrachten dürfen, sondern nur dies wird als festgestellt durch die Versuche an Individuen mit fehlendem äußerem Ohr und an Monotischen gelten können, daß daneben noch andere physiologische Substrate der Entfernungs- und Richtungsbestimmung existieren, die außerdem nach dem allgemeinen Prinzip der funktionellen Stellvertretung bei Verlust des äußeren Ohrs vielleicht zu größerem Einfluß gelangen.

5. Theorie der Lokalisation und der räumlichen Tastvorstellungen.

Für die Erklärung der Tastvorstellungen bietet sich, wie für die Theorie der Sinneswahrnehmungen überhaupt, ein doppelter Ausgangspunkt. Man kann entweder auf die ursprünglichen Einrichtungen, auf den Einfluß des Nervenreichtums, der spezifischen Tastorgane, der Wachstumsverhältnisse der Haut zurückgehen. Oder man kann vorzugsweise die Bewegung der Teile, die Übung, die Bedeutung begleitender Gesichtsbilder berücksichtigen, Einflüsse, welche die räumliche Unterscheidung als eine von psychologischen Motiven abhängige Funktion erscheinen lassen. HELMHOLTZ hat die Theorien der ersten Richtung als die nativistischen, die der zweiten als die empiristischen bezeichnet[1]. Da aber nicht jede psychologische, der nativistischen Anschauung widerstrebende Theorie eine empiristische genannt werden kann, so werden wir die Ausdrücke nativistisch und genetisch, die die tatsächlich vorhandenen Gegensätze begrifflich schärfer bezeichnen, vorziehen. Dann läßt sich die genetische Ansicht wieder in zwei Unterformen sondern: in die empiristische, welche die Raumvorstellung als ein Produkt der Erfahrung betrachtet, und in die Assoziationstheorie, welche Assoziationsprozesse irgendwelcher Art, insbesondere Verschmelzungen, die der gewöhnlich sogenannten Erfahrung vorausgehen, und Assimilationen, die auf elementaren reproduktiven Verbindungen und Hemmungen beruhen, als deren Grundlagen ansieht. Dabei setzen übrigens auch solche

sität vollkommen gleich erschienen. Trotzdem gab der Beobachter die Entfernungsunterschiede richtig an; nur die Unterschiedsschwelle war größer als bei normalen Individuen.

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 435, [2] S. 608.

reproduktive Einflüsse zwar vorangegangene Eindrücke, aber keineswegs ausgebildete Erfahrungen im Sinne des landläufigen Empirismus voraus[1].

Die nativistische Theorie pflegt speziell beim Tastsinn an dem Begriff des Empfindungskreises als einer fest gegebenen anatomisch-physiologischen Einheit festzuhalten. Jedem Empfindungskreis entspricht, so wird in der Regel angenommen, eine einzige Nervenfaser, die als solche ein einziges Raumelement im Sensorium repräsentiert. Nach der empiristischen Theorie stehen die Empfindungskreise in gar keiner direkten Beziehung zur physiologischen Organisation, sondern sie sind nur ein Ausdruck für die jeweils vorhandene Feinheit der räumlichen Unterscheidung, und diese wird durch die Erfahrung bestimmt. Aber keine dieser beiden Ansichten vermag die Tatsachen zureichend zu erklären. Nun weist der Nativismus mit Recht auf ursprüngliche Strukturbedingungen hin, die allen Erfahrungseinflüssen ziemlich enge Schranken ziehen, so daß die Feinheit der Lokalisation durch noch so viel Erfahrung und Übung nicht über eine gewisse Grenze hinaus geschärft werden kann. Aber es ist ein falscher Schluß, wenn deshalb, weil jene Bedingungen angeborene sind, nun auch die räumliche Ordnung selbst als eine angeborene betrachtet wird. Dem Empirismus hinwiederum kann nicht widersprochen werden, wenn er der Erfahrung einen Einfluß zuschreibt. Aber damit ist noch nicht bewiesen, daß alle Tastvorstellungen aus der Erfahrung entspringen. Denn Erfahrung und Übung können erst ihre Hebel ansetzen, wenn überhaupt schon eine Raumvorstellung existiert. Hiermit sind wir zugleich zu dem entscheidenden Punkt gelangt, den Nativismus und Empirismus beide verfehlen. Die Theorie der Tastvorstellungen hat zu erklären, wie aus den angeborenen Organisationsbedingungen die räumliche Ordnung der Tastempfindungen nach physiologischen und psychologischen Gesetzen entsteht. Da nun die letzteren überall, wie sich bei der Untersuchung der einzelnen Erscheinungen gezeigt hat, auf assoziative Prozesse zurückgehen, die zwar zum Teil vorangegangene äußere Eindrücke, nur in beschränktem Maße aber ausgebildete Erfahrungsvorstellungen voraussetzen, so werden wir damit zu der zweiten Form der genetischen Theorie, zur Assoziationstheorie geführt. Sie will einerseits die Einflüsse der Struktur in ihre Rechte einsetzen, und anderseits nicht minder einen psychologischen Ausgangspunkt gewinnen, an den sich jene sekundären psychischen Einflüsse, die man in die unbestimmten Begriffe der »Erfahrung« und »Übung« zusammenfaßt, als wesentlich gleichartige Prozesse anschließen

---

[1] Über die wesentlichen psychologischen Unterschiede der Begriffe Verschmelzung und Assimilation vgl. die vorläufigen Bemerkungen oben S. 436 und das Nähere unten in Kap. XIX.

können. Dabei kann freilich von einer endgültigen Behandlung des psychologischen Raumproblems hier noch keine Rede sein. Dazu fehlt es uns an der Untersuchung desjenigen Sinnesgebiets, auf dessen überragenden Einfluß die Erscheinungen im Tastgebiet selbst überall hinweisen: des Gesichtssinnes[1]. So sollen denn hier zunächst nur diejenigen Gesichtspunkte hervorgehoben werden, die sich aus den mitgeteilten Beobachtungen für das Tastgebiet selbst ergeben.

Hier ist nun das einfachste Problem das der Lokalisation eines Eindrucks oder mehrerer Eindrücke, wie sie z. B. bei den WEBERschen Versuchen stattfindet. Dieses einfachste Problem erledigt sich für den Sehenden sowie für den Blinden, dessen Wahrnehmungen wesentlich noch in Erinnerungsbildern des Gesichtssinnes bestehen, von selbst durch das, was die innere Wahrnehmung und die Variation der Bedingungen lehren. Eine solche Lokalisation vollzieht sich nämlich beim Sehenden wahrscheinlich nie ohne den Gesichtssinn, und wir sind also berechtigt zu schließen, daß sie mindestens teilweise durch den Gesichtssinn, durch die unmittelbare Assoziation eines Gesichtsbildes mit dem Tasteindruck erfolgt. Es kann sich daher nur noch um die Frage handeln, wodurch der Tasteindruck imstande ist, jene Assoziation zu erwecken. Hier ist auf Grund der Selbstbeobachtung nur die Antwort möglich: die Assoziation erfolgt durch die qualitative Eigentümlichkeit der Empfindung an der betreffenden Hautstelle, welche Eigentümlichkeit dieselbe wesentlich durch die Struktur, den Nervenreichtum und sonstige Verhältnisse gewinnt. In der Tat können wir ja, wie früher (S. 4) bemerkt wurde, von dem Ort der Berührung abhängige Variationen der Qualität der Druckempfindung innerhalb größerer Raumdistanzen ohne Schwierigkeit beobachten, wenn auch die gleichzeitig stattfindenden Lokalisationen hierbei störend sich einmengen und daher bei kleineren Distanzen den qualitativen Unterschied der Empfindungen verdecken können. Böte aber die Tastempfindung der einzelnen Teile solche Unterschiede nicht wirklich dar, so wäre schwer zu begreifen, wie wir bei weggewandtem Blick sofort mit dem Tasteindruck das Gesichtsbild assoziieren. Denn wollte man auch noch so viele angeborene Lokalisationseinrichtungen in der Haut selbst annehmen, so würde doch ein physiologischer Mechanismus, der das dazu passende Gesichtsbild erweckte, eine allzu unwahrscheinliche Hypothese sein, der die einfache Voraussetzung, die gereizte Stelle werde an der ihr eigenen Qualität der Empfindung erkannt, jedenfalls vorzuziehen ist.

Wir werden also dazu gedrängt, eine lokale Färbung der Tast-

[1] Vgl. Kap. XIV, 6, wo auch die oben kurz gekennzeichneten psychologischen Raumtheorien eingehender erörtert sind.

empfindungen anzunehmen, die sich über die ganze Hautoberfläche stetig verändert. Diese einer jeden Hautstelle zukommende lokale Färbung wollen wir, einen von LOTZE[1] in allgemeinerem Sinne eingeführten Ausdruck benützend, das Lokalzeichen derselben nennen. Mit der Stärke des äußeren Eindrucks nimmt, wie bei allen Empfindungsqualitäten, bis zu einer gewissen Grenze die Deutlichkeit dieses Lokalzeichens zu, daher sehr schwache Eindrücke undeutlichere Gesichtsbilder erwecken und unvollkommener lokalisiert werden als solche von etwas größerer Stärke. Es ist ferner anzunehmen, daß die Lokalzeichen zunächst an die Tastempfindungen der Hautoberfläche gebunden sind; doch werden wohl auch die unter der Haut gelegenen, von sensibeln Nerven versorgten Weichteile, namentlich die Muskeln und Gelenke, an ihnen beteiligt sein. Am feinsten abgestuft sind sie an den mit besonderen Tastapparaten versehenen Stellen (S. 472f.). Für die Geschwindigkeit, mit der sie sich an den verschiedenen Teilen des Körpers ändern, gibt uns aber die Größe der sogenannten Empfindungskreise ein gewisses Maß. Wegen der meist längsovalen Gestalt dieser Bezirke werden sich demnach in der Regel die Lokalzeichen in der Längsrichtung der Teile langsamer als in der queren verändern, und im übrigen wird zwar die Geschwindigkeit ihrer Abstufung außerordentlich variieren, wenn auch nicht in so hohem Grade, als man nach den gewöhnlichen Unterschieden im Durchmesser der Empfindungskreise erwarten könnte, da diese Unterschiede durch die Übung zum Teil ausgeglichen werden. Schließlich wird vorauszusetzen sein, daß für symmetrische Stellen beider Körperhälften die Lokalzeichen zwar ähnlich, aber nicht identisch sind. Für ihre Ähnlichkeit sprechen, abgesehen von der Erwägung, daß übereinstimmende Strukturverhältnisse des Tastorgans auch eine übereinstimmende Beschaffenheit der Empfindung mit sich führen müssen, namentlich die Beobachtungen über die unwillkürliche Mitübung der korrespondierenden Teile einer Seite, wenn die andere durch Übung vervollkommnet wurde, sowie die Erscheinungen der »Allocheirie« (S. 478f.). Daß aber bei allem dem eine gewisse Verschiedenheit an symmetrischen und verwandten Teilen besteht, schließen wir teils aus der tatsächlichen Unterscheidung, teils aus den Differenzen der Struktur, die bei noch so großer Ähnlichkeit immerhin vorkommen. Für die Lokalzeichen der tieferen Teile dürfte hierbei außerdem die ungleiche Ausbildung und Übung der Bewegungen beider Körperhälften in Betracht kommen.

Läßt sich nach diesen Assoziationen mit begleitenden Gesichtsvorstellungen und im Hinblick auf die vorherrschende Stellung der letzteren

---

[1] LOTZE, Medizinische Psychologie, 1851, S. 331.

in unserer Anschauungswelt die Lokalisation durch den Tastsinn im allgemeinen als eine Eintragung in den Gesichtsraum bezeichnen, die sich mittels der jeder Hautstelle eigenen lokalen Färbung vollzieht, so ist aber immerhin schon beim Sehenden dieser Faktor nicht der einzige, der die Ordnung der Tastempfindungen zustande bringt, sondern hier bereits machen sich dem Tastsinne spezifisch zugehörige Einflüsse neben den Gesichtsassoziationen geltend, die, wo diese zurücktreten, einen selbständigen Tastraum erzeugen können. Solche Einflüsse verraten sich vor allem in den Orts- und Lagetäuschungen, die wir oben als Wirkungen direkter und reproduktiver Assimilationen kennen lernten, und die teils ohne jede Beeinflussung durch ein begleitendes reproduktives Gesichtsbild, teils wenigstens nur in Begleitung einer leise unterstützenden Assoziation mit ihm entstehen (S. 483). Auch ist die Deutlichkeit solcher begleitender Gesichtsbilder je nach der individuellen Sinnesanlage eine so wechselnde, daß sich danach geradezu Individuen mit und ohne visuelle Anlage unterscheiden lassen. So ist denn schon nach den Erscheinungen beim Sehenden nicht zu zweifeln, daß der Tastsinn selbst, insbesondere in seiner äußere und innere Tastempfindungen gleichzeitig umfassenden Funktion, bereits vollauf die Fähigkeit der Raumauffassung besitzt; und es bedeutet daher nur das Hinwegfallen eines zumeist unterstützenden, aber an sich entbehrlichen Momentes, wenn sich beim Blindgeborenen oder in frühester Lebenszeit Erblindeten Raumvorstellungen entwickeln, die nun umgekehrt einen teilweisen Ersatz für den fehlenden Gesichtsraum bieten können.

Besonders in diesem Fall ist es aber die Bewegung der Tastorgane, die sich in hervorragender Weise an der Lokalisation der Eindrücke und an der Wahrnehmung der Gestalt der betasteten Gegenstände beteiligt. Wie sich nach der Beweglichkeit der Tastorgane die Feinheit der Lokalisation richtet (S. 475), so werden Fehler derselben mittels tastender Bewegungen verbessert; Entfernungen, die das ruhende Tastorgan nicht erkennt, werden mit dem bewegten deutlich aufgefaßt, und bei der Übung kommt den Bewegungen eine wichtige Rolle zu. Diesen Einfluß können nun die Bewegungen wiederum nur mittels der an sie geknüpften Empfindungen ausüben. Mit den eigentlichen Tastempfindungen können aber die früher (S. 26f.) geschilderten sogenannten »Bewegungsempfindungen« in dreifacher Weise kombiniert sein. Erstens verbinden sich, indem wir unser Tastorgan an den Gegenständen hinbewegen und so sukzessiv voneinander entfernte Punkte berühren, mit einer und derselben Tastempfindung Spannungsempfindungen verschiedenen Grades. Zweitens können wir unser eigenes Tastorgan betasten, wo Bewegungs- und Tastempfindung verschiedenen Teilen angehören. Drittens entstehen äußere und

innere Tastempfindungen im Vereine, sobald wir überhaupt unsere Glieder bewegen, infolge der von den letzteren aufeinander ausgeübten Dehnungen und Pressungen. Es läßt sich vermuten, daß diese dritte Verbindung für die erste Ausbildung der äußeren Tastvorstellungen vorzugsweise von Bedeutung ist. Geht doch aus ihr die ursprünglichste räumliche Auffassung hervor, die Unterscheidung unserer Körperteile in bezug auf ihre Lage im Raume. Je größer die Beweglichkeit der Teile gegeneinander ist, um so schärfer werden sie gesondert werden können; und zugleich ist damit für die durchgängige Abhängigkeit der Feinheit räumlicher Unterscheidung von der Beweglichkeit die nächste Bedingung gegeben. Auch erklärt es sich hieraus, daß selbst beim Sehenden der Umstand, ob die tastenden Organe durch das Gesicht wahrgenommen werden können, auf die Feinheit der Raumschwelle keinen bemerkbaren Einfluß ausübt[1]. Der Gesichtssinn bestimmt eben nur die allgemeine Beschaffenheit des Raumbildes, und er unterstützt eventuell die Einordnung der Tasteindrücke in dasselbe; die Unterscheidung dieser ist aber ausschließlich an die spezifischen Funktionen des Tastsinnes selbst, also teils an die Abstufung der lokalen Empfindungsfärbung, teils an die Tastbewegungen gebunden.

Nach den allgemeinen Assoziationsgesetzen, wie sie uns in andern Anwendungen bereits bei der Bildung der intensiven Gehörsvorstellungen (S. 436) begegnet sind, verbinden sich nun Empfindungen, die häufig verbunden waren, dergestalt miteinander, daß auch in solchen Fällen, wo nur einige derselben unmittelbar durch Reize wachgerufen werden, die andern sich als reproduktive Elemente hinzugesellen. Demnach verschmelzen und assimilieren sich die Haut- und Bewegungsempfindungen zu untrennbaren Komplexen. Indem wir unsern Arm bewegen wollen, entsteht, noch bevor die Bewegung wirklich ausgeführt wird, eine reproduzierte Spannungsempfindung, mit der zugleich das blasse Erinnerungsbild der künftigen Hautempfindungen, welche die Bewegung begleiten werden, verbunden ist. So kommt es, daß sich unmittelbar mit der motorischen Innervation die Vorstellung des bewegten Körperteils und die der Bewegung, die derselbe ausführen soll, leise assoziieren. Darum kennen wir weder Haut- noch Spannungsempfindungen in ihrem vollkommen isolierten Bestehen. Wo ein bestimmter Reiz unmittelbar nur die einen oder andern hervorruft, da werden sie dennoch durch Reproduktion zu einem Empfindungskomplexe ergänzt, der die räumliche Anschauung bereits mit sich führt. Bei normalem Empfindungszustande ist es also niemals möglich, die Elemente dieser Anschauung isoliert zu beobachten. Ent-

---

[1] E. H. WEBER, Annotat. anat. p. 75.

hält auch das Kontinuum der Lokalzeichen an und für sich noch nichts von der Raumvorstellung, so kann diese demnach auf doppelte Weise aus demselben hervorgehen: erstens durch die Assoziation mit dem Sehraum, — das ist die zwar nicht allein herrschende, aber durch die Verbindung unserer räumlichen Sinne besonders wichtige Form beim sehenden Menschen; und zweitens ausschließlich durch die assoziative Verschmelzung mit den Spannungsempfindungen, — das ist, wie wir folgerichtiger Weise annehmen müssen, die Raumform des Blindgeborenen. Von ihr kann sich der Sehende selbstverständlich keine Vorstellung machen, da der Mangel der Gesichtsbilder eine Bedingung ihrer Entstehung ist. Wir können nur schließen, daß die allgemeinen, für die Orientierung maßgebenden Eigenschaften dieses reinen Tastraumes mit denen unseres Gesichtsraumes im wesentlichen übereinstimmen. Wir nehmen demnach an, die Spannungsempfindungen seien in ihrer von dem Bewegungsumfang abhängigen intensiven Abstufung ein gleichförmiges Maß für die beiden Dimensionen des qualitativen Systems der Lokalzeichen, und eben hierdurch vermittelten sie die Anschauung einer stetigen Mannigfaltigkeit, deren Dimensionen untereinander gleichartig sind. Die Form der Fläche, in welche die Lokalzeichen geordnet werden, ist hierbei zunächst völlig unbestimmt. Sie wechselt mit der Form der betasteten Gegenstände. Durch die Bewegungsgesetze der Gliedmaßen sind aber solche Lageänderungen bevorzugt, bei denen sich das Tastorgan geradlinig den Gegenständen entgegen oder an ihnen hinbewegt. Indem so die Gerade zum bestimmenden Element des Tastraumes wird, erhält der letztere die Form eines ebenen Raumes, in welchem die in ihrer Krümmung wechselnden Flächen, die wir durch Betastung wahrnehmen, auf drei geradlinige Dimensionen zurückgeführt werden. Diese eigentümliche Assoziation können wir hiernach mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der aus ihr hervorgehenden Vorstellungsgebilde als eine Verschmelzung in extensiver Form oder der Kürze wegen als »extensive Verschmelzung« bezeichnen. Der Ausdruck Verschmelzung weist hier wieder auf die Innigkeit der Verbindung der Elemente, sodann aber auch darauf hin, daß das entstandene Produkt neue Eigenschaften besitzt, die seinen Bestandteilen noch nicht zukamen. Eben darum lassen sich die Elemente, aus denen die Produkte sich bilden, erst durch die psychologische Analyse nachweisen; und die letztere kann wieder auf die Elemente, da diese nie isoliert vorkommen, nur aus den Veränderungen schließen, welche die Vorstellungen, deren Bestandteile sie bilden, unter verschiedenen Bedingungen erfahren.

Indem die psychologische Analyse die genannten Elemente auffindet, führt sie damit zugleich auf bestimmte physiologische Bedingungen, welche dem Verschmelzungsprozeß vorausgehen. Es muß nämlich 1) den Bewegungsempfindungen die Eigenschaft zukommen, bei der Transformation des ungleichartigen in ein gleichartiges Kontinuum zur Abmessung dienen zu können; sodann muß 2) das Tastorgan für die Ausbildung und Abstufung der Lokalzeichen die erforderlichen Anlagen der Struktur besitzen; und endlich wird 3) nach physiologischen Vorbedingungen zu suchen sein, die den Akt der Verschmelzung vermitteln helfen. Der ersten dieser Forderungen kommen die Bewegungsempfindungen durch ihre an den wechselnden Umfang der Bewegungen gebundenen Intensitätsunterschiede nach. Durch diese bilden sie an jedem, selbständig in einem Gelenk beweglichen Körperteil eine fein abgestufte Intensitätsreihe bei im wesentlichen qualitativ gleichartiger Beschaffenheit der Empfindung. Zweifelhafter kann man darüber sein, aus welchen Eigentümlichkeiten des Tastorgans die Lokalzeichen zu erklären sind. So können Strukturverschiedenheiten der nicht-nervösen Hautbestandteile und der subkutanen Gewebe möglicherweise eine lokale Färbung der Empfindungen mitbedingen. Aber von größerem Gewicht scheinen doch die Verhältnisse der Nervenverteilung selbst zu sein, da die feiner lokalisierenden Teile reicher an Nerven und an besonderen Tastapparaten sind. Nun ist es kaum wahrscheinlich, daß etwa an jede Nervenfaser an und für sich schon ein Lokalzeichen gebunden sei. Dagegen ist es wohl denkbar, daß eine Hautstelle, in der sich zahlreichere Fibrillen verzweigen, eben deshalb eine qualitativ etwas andere Empfindung vermittelt, als eine solche, in der nur wenige sich ausbreiten, und an den Endigungen der Nerven in besonderen Tastapparaten werden möglicherweise schon bei unmittelbarer Nachbarschaft der letzteren solche Unterschiede sich ausprägen können. Folgt man dieser Vorstellung, so wird im allgemeinen die Feinheit der Lokalisation nicht sowohl von der absoluten Zahl der Nervenfasern als vielmehr von der Geschwindigkeit abhängen, mit der sich von einer Stelle zur andern die Zahl der Fibrillen ändert. Diese Änderung geschieht aber an den nervenreichsten Teilen am schnellsten. Einen Empfindungskreis werden wir nun einen solchen Hautbezirk nennen, in dem die Nervenausbreitung so gleichförmig ist, daß, namentlich solange die Eindrücke nicht als punktförmige mit distinkten Tastapparaten in Berührung kommen, lokale Empfindungsunterschiede von merklicher Größe nicht entstehen. In der Tat bestätigt dies die Erfahrung, insofern an allen Hautstellen, die sich durch genaue Lokalisation auszeichnen, wie z. B. an den Fingerspitzen, auch die Feinheitsunterschiede nahe beieinander gelegener Stellen am größten sind. Jene Interferenz der Empfindungskreise, welche die Fig. 249 (S. 477) für die horizontale Richtung veranschaulicht, erklärt sich leicht aus dieser Vorstellung. An jedem Punkt der Haut muß ja ein neuer Empfindungskreis beginnen, insofern für jeden ein bestimmtes Maß der geänderten Nervenverteilung existiert, innerhalb dessen die Veränderung des Lokalzeichens unmerklich ist. Zugleich ist deutlich, daß die Grenze der lokalen Unterscheidung keine fest bestimmte sein kann. Denn die Abstufung der Lokalzeichen, bez. der ihnen zugrunde liegenden Nervenverteilung, ist eine stetige, so daß bei fortgesetzter Übung auch solche Unterschiede noch erkannt werden, die ursprünglich der Beobachtung entgehen. Leicht fügen sich dieser Hypothese ferner die Beobachtungen über den Einfluß des Wachstums (S. 473), da

hierbei die Zahl der auf eine bestimmte Hautfläche kommenden Nervenfibrillen annähernd ungeändert bleibt, also die Schnelligkeit in der Abstufung der Nervenverteilung sich vermindern muß. Man hat nun allerdings in der besonders feinen Unterscheidungsfähigkeit der von MAGNUS BLIX und GOLDSCHEIDER entdeckten Druckpunkte eine dieser Anschauung sowie der Annahme von Lokalzeichen überhaupt entgegenstehende Schwierigkeit zu finden geglaubt. GOLDSCHEIDER bezieht die beträchtliche Differenz, die zwischen den von ihm gefundenen Minimaldistanzen zweier mittels der Druckpunkte unterschiedener Eindrücke und den WEBERschen Empfindungskreisen besteht, darauf, daß es sich im letzteren Fall um eine Summation vieler lokaler Empfindungen handle, bei denen sowohl Druckpunkte wie andere Nervenausbreitungen beteiligt seien, während im ersten bloß die spezifischen Druckorgane erregt würden[1]. Diese Interpretation wird man wohl als eine zutreffende betrachten können. Wenn aber der nämliche Beobachter schließt, hierdurch sei die Lokalzeichentheorie widerlegt, so kann ich dem nicht beistimmen. Im Sinne der Lokalzeichentheorie sagt jener Befund eben nur, daß die Druckpunkte bzw. die mutmaßlich überall mit ihnen zusammenfallenden speziellen Tastapparate Punkte feinster lokaler Färbung der Empfindungen seien; und dies ist wegen des Nervenreichtums und der sonstigen besonderen Strukturverhältnisse dieser Gebilde an sich wahrscheinlich. Sieht man dagegen in den Druckpunkten starre anatomische Substrate für die räumliche Auffassung, so wird man mit GOLDSCHEIDER genötigt, zweierlei Empfindungen zu statuieren, die ganz verschiedenen Bedingungen unterworfen sind: einmal die der Druckpunkte, die gewissermaßen dem nativistischen System gehorchen, und sodann die der dazwischenliegenden Hautpartien, deren Ortsempfindlichkeit nach dem empiristischen System zugeschnitten ist, indem alle die oben erörterten Einflüsse der Übung und sonstiger psychologischer Bedingungen aus den veränderlichen Empfindungsbedingungen dieser Zwischengebiete abgeleitet werden. Um eine solche Annahme der weit einfacheren, welche die Lokalzeichentheorie gewährt, vorzuziehen, müßte doch erst bewiesen werden, daß die Ortsempfindlichkeit der Druckpunkte nicht der Übung unterworfen sei. Dieser Beweis läßt sich jedoch nicht führen, denn GOLDSCHEIDER selbst gibt an, daß sich die im Anfang gefundenen Minimaldistanzen bei den späteren Untersuchungen als zu groß herausstellten[2]. Das ist aber genau dasselbe, was man bei der Untersuchung der WEBERschen Empfindungskreise findet und als Einfluß der Übung deutet.

Die physiologischen Bedingungen, die der Verschmelzung der beiden in der räumlichen Tastvorstellung zusammenwirkenden Empfindungssysteme der Haut- und Bewegungsempfindungen zugrunde liegen, können allein zentraler Natur sein. Denn die Grundlage dieser Verschmelzung ist die Verbindung von Sinneseindrücken und Bewegungsimpulsen, wie sie nur in bestimmten Zentralherden des Nervensystems stattfindet. Als Gebilde, welchen diese Funktion speziell für das Tastorgan und die ihm zugeordneten Muskelbewegungen höchst wahrscheinlich zukommt, haben wir früher die Sehhügel kennen gelernt, komplizierte Reflexzentren, von welchen die auf bestimmte Tasteindrücke

[1] GOLDSCHEIDER, Archiv für Physiologie, 1855, Suppl., S. 95 ff.
[2] A. a. O. S. 85.

erfolgenden zusammengesetzten Bewegungsreaktionen ausgehen[1]. Den physiologischen Grund für die Assoziation der Bewegungs- und Hautempfindungen müssen wir sonach in jenem zentralen Mechanismus suchen, der den Empfindungen bestimmte Bewegungen anpaßt, und der wahrscheinlich innerhalb der Großhirnrinde seine besondere Vertretung hat. Die Zergliederung der geordneten Körperbewegungen weist endlich schon auf eine nähere Verbindung einerseits der symmetrischen Teile beider Körperhälften, anderseits der funktionell einander zugeordneten Regionen, wie z. B. der einzelnen Finger, hin. Hierin möchte dann eine physiologische Bedingung jenes Einflusses gegeben sein, den ein direkt geübter Teil auf andere symmetrische oder in funktioneller Verbindung stehende in der Form der Mitübung äußert.

Auf eine nähere kritische Würdigung der Raumtheorien, namentlich der nativistischen und empiristischen, kann, wie oben bemerkt, erst im nächsten Kapitel eingegangen werden. Hier sei nur kurz auf diejenigen allgemeinen Behandlungen des psychologischen Raumproblems hingewiesen, die vorzugsweise den Tastsinn, als den allgemeinsten Raumsinn, zu ihrer Grundlage genommen haben. Die Ansicht, daß der Tastsinn durch den Zwang, dem seine Empfindungen unterworfen seien, unmittelbar die Vorstellung der Außenwelt vermittle, in der Bildung dieser Vorstellung aber in der mannigfaltigsten Weise durch Erfahrungseinflüsse bestimmt werde, ist seit Locke[2] in der Psychologie und Philosophie des 18. Jahrhunderts die vorherrschende. Mit besonderem Erfolg vertreten diese halb nativistische, halb empiristische Auffassung, die den Tastsinn zum ursprünglich objektivierenden Sinn macht, Berkeley[3] und Condillac[4]. In Deutschland begünstigte vom Anfang des 19. Jahrhunderts an Kants Lehre von den Anschauungsformen eine streng nativistische Richtung. Indem man den Raum als die angeborene Form der äußeren Sinnesanschauung betrachtete, meinte man auch die einzelnen räumlichen Vorstellungen aus den gegebenen Einrichtungen der Sinnesorgane und des Nervensystems ableiten zu sollen. So stellte J. Müller den Satz auf, jeder Punkt, in dem eine Nervenfaser ende, werde im Sensorium als Raumteilchen vorgestellt. Wir haben nach ihm eine ursprüngliche Vorstellung unseres Körpers vermöge der Durchdringung desselben mit Nerven; ebenso ist mit den Empfindungen der Muskeln oder vielleicht schon mit der Innervation bestimmter motorischer Nervenfasern unmittelbar eine Vorstellung der bei der Bewegung zurückgelegten Räume verbunden[5]. Auf denselben Anschauungen beruht E. H. Webers Lehre von den Empfindungskreisen. In der ursprünglichen Fassung dieser Lehre ist der Empfindungskreis diejenige Hautstrecke, welche von einem Nervenfaden versorgt und daher als eine räumliche Einheit empfunden wird. Später modifizierte Weber seine Theorie, um sie gegen verschiedene Einwände sicherzustellen, indem er annahm, die Empfindungskreise seien sehr kleine Hautflächen, so daß zwischen zwei Eindrücken immer deren mehrere gelegen sein müßten; er führte hierauf die Vorstellung des zwischen den Eindrücken

---

[1] Kap. VI, Bd. 1, S. 266.
[2] Essay concerning human understanding. 1709.
[3] Theorie of vision, § 54 ff. 1709.
[4] Traité des sensations. 1754.
[5] Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, S. 508.

gelegenen Zwischenraums zurück. Auch glaubte er jetzt, daß die Bestimmung des Ortes, wo ein Eindruck stattfinde, wahrscheinlich erst durch Erfahrung geschehe. Den nebeneinander liegenden substituierte dann CZERMAK interferierende Empfindungskreise, wodurch er diesen Begriff wieder in seine ursprüngliche Bedeutung, als diejenige Flächengröße, in der räumlich getrennte Eindrücke zusammenfallen, glaubte einsetzen zu können[1].

Sobald man, wie es in diesen späteren Umgestaltungen der Lehre von den Empfindungskreisen der Fall ist, der Erfahrung einen wesentlichen Einfluß auf die Feststellung der räumlichen Beziehungen zugesteht, so ist aber damit die Frage nach den psychologischen Motiven eines solchen Einflusses gegeben. Hier ist nun der Übergang von der vermittelnden Ansicht, wie sie WEBER und seine Nachfolger versuchten, zu solchen Hypothesen, die nicht bloß die spätere Vervollkommnung der räumlichen Tastvorstellungen, sondern überhaupt ihre Entstehung aus einer psychologischen Entwickelung abzuleiten suchen, nahe gelegt. Dieser Hypothesen lassen sich vier unterscheiden: zwei rein psychologische, die die Raumanschauung lediglich aus dem Wesen der Seele oder dem Verlaufe ihrer Vorstellungen herzuleiten suchen; und zwei psychophysische, die daneben bestimmte physiologische Vorbedingungen statuieren. Nach der ersten beruht die Raumvorstellung auf dem unteilbaren, einfachen Wesen der Seele, welches die Verschmelzung mehrerer gleichzeitig gegebener Empfindungen in ein intensives Vorstellen verhindert und daher Ursache wird, daß dieselben nebeneinander geordnet werden. Nach dieser von TH. WAITZ[2] vertretenen Ansicht kann dann die speziellere räumliche Ordnung der Eindrücke als Produkt der Erfahrung aus psychologischen Vorgängen sekundärer Art abgeleitet werden, wobei auch hier wieder der Tastsinn als der ursprüngliche Raumsinn betrachtet wird. Nach der zweiten, von HERBART aufgestellten Hypothese geht die Raumvorstellung aus einer Sukzession von Empfindungen hervor, welche in die räumliche Form geordnet werden, sobald ihre Reihenfolge sich umkehren kann. Hier gilt die Bewegung, z. B. des tastenden Fingers, nur insofern bei der Raumanschauung als wirksam, als sie eine Sukzession der Vorstellungen vermittelt, und sie kann daher auch durch eine Hin- und Herbewegung des äußeren Objekts ersetzt werden[3]. Die dritte Hypothese ist die Lokalzeichenhypothese in der von LOTZE aufgestellten Form. Der Seele als unräumlichem Wesen sollen danach nur intensive Zustände ursprünglich eigen sein. Zur Entstehung eines räumlichen Auseinandertretens bedarf es daher eines hinzukommenden Nervenprozesses, welcher der Empfindung ein Zeichen beigibt, durch welches diese auf einen bestimmten Ort im Raume bezogen werden kann. Ein solches Lokalzeichen kann bei den verschiedenen Sinnesorganen möglicher-

[1] CZERMAK, Sitzungsber. der Wiener Akad., 3, Bd. 15, S. 466, und Bd. 17, S. 577, 1855. Vgl. über diese und einige andere Theorien über die sog. Empfindungskreise meine Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 14 ff.

[2] Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft, 1849, § 18.

[3] HERBART, Psychologie als Wissenschaft. Werke, Bd. 6, S. 119 f. »Beim Vorwärtsgehen sinken allmählich die ersten Auffassungen und verschmelzen, während des Sinkens sich abstufend, immer weniger und weniger mit den nachfolgenden. Beim mindesten Rückkehren aber geraten sämtliche frühere Auffassungen, begünstigt durch die vielen jetzt hinzukommenden, die ihnen gleichen, ins Steigen.« So geschieht es, »daß jede Vorstellung allen ihre Plätze anweist, indem sie sich neben und zwischen einander lagern müssen«. Vgl. dazu LOTZE, WAGNERS Handwörterbuch der Physiologie, Bd. 3, S. 177.

weise eine verschiedene Beschaffenheit besitzen. Erforderlich ist nur, daß alle Lokalzeichen Glieder einer geordneten Reihe sind. Speziell beim Tastsinn vermutet LOTZE, daß sie aus einem System von Mitempfindungen bestehen, welche durch die Ausbreitung des Reizes auf umgebende Teile verursacht werden[1]. TH. LIPPS hat dann diese Theorie dahin modifiziert, daß er den variabeln Verbindungen, in welche die Lokalzeichen miteinander treten, je nachdem verschiedene Hautstellen gleichzeitig berührt werden, einen spezifischen raumerzeugenden Einfluß zuschreibt. Dadurch werde, auch wenn man eine ursprüngliche Tendenz zur intensiven Verschmelzung aller gleichzeitigen Empfindungen voraussetze, doch eine Trennung gerade jener in der Verbindung wechselnden Elemente eintreten können[2]. Die vierte Hypothese verlegt endlich den Ursprung aller Raumvorstellungen in die eigene Bewegung und in die an diese gebundenen intensiv abgestuften Empfindungen[3]. Indem die Bewegung je nach ihrer Schnelligkeit die nämlichen Intensitätsabstufungen in verschiedener Zeit zurücklege, soll sich hierbei die Vorstellung des Raumumfangs der Bewegung von der ihrer Zeitdauer trennen.

Diesen mehr oder weniger metaphysisch angehauchten Hypothesen gegenüber sucht nun die oben entwickelte Theorie[4] lediglich diejenigen Einflüsse zur Geltung zu bringen, die sich direkt durch Beobachtung und Experiment als die bei den Tastwahrnehmungen wirksamen nachweisen lassen. Danach nimmt sie einerseits »Lokalzeichen« an, insofern jedem Hautpunkt eine bestimmte lokale Färbung zukommt, die sich sowohl bei den normalen Berührungsempfindungen wie insbesondere bei den mannigfachen, durch Sensibilitätsstörungen verursachten Ortstäuschungen zu erkennen gibt. Anderseits geht sie von dem in den Lage- und Bewegungstäuschungen deutlich hervortretenden Einfluß der Bewegungsempfindungen aus. Den eigentlichen Ursprung der Raumvorstellungen sieht sie daher in der Verschmelzung jener qualitativen Lokalzeichen mit diesen intensiv abgestuften Spannungsempfindungen, zwei Faktoren, deren keiner an sich schon die Raumbeziehung enthält, die jedoch eben durch ihre Verschmelzung oder »psychische Synthese« sie erzeugen. Wenn hiergegen bemerkt wurde, diese Synthese sei ein Ausdruck, der den Vorgang selbst nicht begrifflich erkläre, so ist dieser Einwand deshalb nicht zutreffend, weil er der Theorie eine Absicht zuschreibt, die bei ihr nicht bestanden hat, und die überhaupt bei keiner Theorie berechtigter Weise bestehen kann. Wir können niemals eine geistige Schöpfung, ähnlich etwa wie eine mechanische Bewegung, aus ihren elementaren Bedingungen mit mathematischer Evidenz voraussagen. Bei den höheren geistigen Erzeugnissen ist uns dies längst geläufig; daß bei den gewöhnlichsten Vorstellungsbildungen schon das nämliche Verhältnis geistiger Kausalität stattfindet, ist aber eine noch immer meist übersehene Tatsache. Der Hinweis auf die chemische »Synthese« will dies nur durch ein analoges, wenn auch keineswegs identisches naturwissenschaftliches Beispiel

---

[1] LOTZE, Med. Psychologie, S. 409.

[2] TH. LIPPS, Grundtatsachen des Seelenlebens. 1883, S. 472 ff. und besonders S. 496 ff.

[3] A. BAIN, The senses and the intellect[2]. 1864, p. 197 ff. Mit der Theorie BAINS stimmt eine ältere deutsche Arbeit von STEINBUCH in den wesentlichsten Punkten überein. (STEINBUCH, Beitrag zur Physiologie der Sinne. 1811.)

[4] Die Grundzüge derselben sind zuerst in der 1858 erschienenen ersten Abhandlung meiner »Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung« (S. 48—65) auseinandergesetzt.

veranschaulichen: niemand kann die Eigenschaften des Wassers aus denen des Wasserstoffs und des Sauerstoffs vorhersehen, obgleich wir nicht bezweifeln, daß sich jenes aus diesen zusammensetzt. Sachlich ist allerdings diese Analogie deshalb keine ganz zutreffende, weil die chemische Dynamik wahrscheinlich noch dazu führen wird, die Eigenschaften einer Verbindung aus denen ihrer Bestandteile wirklich abzuleiten. Bei der psychischen Verschmelzung dagegen wird, wie ich meine, gemäß dem allgemeinen Charakter psychologischer Gesetze immer nur dieses möglich sein, daß man die Eigenschaften der Komponenten gewissermaßen in der Resultante wiedererkennt: niemals geht aber diese so vollständig und ohne Rest aus den ersteren hervor, daß etwa dem, der die Vorstellung des Tastraumes nicht selbst erlebt hätte, diese beigebracht werden könnte, wenn man ihm unabhängig voneinander Tastempfindungen mit ihren Lokalzeichen und Spannungsempfindungen mitzuteilen vermöchte. In dieser Beziehung gilt von den verwickeltsten psychischen Prozessen das nämliche, was von den einfachsten gilt: sie müssen erlebt werden, um Wirklichkeit zu besitzen. Darum kann aber auch hier der Theorie nur die doppelte Aufgabe zufallen: 1) diejenigen Elemente aufzuzeigen, die tatsächlich unsere räumlichen Tastvorstellungen beeinflussen, und 2) die Beziehungen nachzuweisen, in denen die Eigenschaften jener Elemente zu den Eigenschaften des resultierenden Produktes stehen. In beiderlei Hinsicht genügt die Annahme einfacher, unmittelbar mit den Hautempfindungen verbundener Lokalzeichen nicht den Anforderungen: sie erklärt weder den Einfluß der Bewegungen auf die Raumunterscheidung, noch gibt sie über die von der Richtung unabhängige Gleichartigkeit des räumlichen Maßsystems Rechenschaft. Die Annahme komplexer, aus lokalen Empfindungsunterschieden und Spannungs- oder Bewegungsempfindungen bestehender Lokalzeichen dagegen befriedigt jene Forderungen. Denn die Spannungsempfindungen, die dem Einfluß der Bewegung als Grundlage dienen, bieten zugleich in zureichender Weise die Eigenschaft einer gleichartigen, bloß intensiv abgestuften Mannigfaltigkeit, um in ihnen jene qualitative Kongruenz der Dimensionen vorgebildet zu finden, die eine wesentliche Eigenschaft unserer Raumanschauung ist. Zu diesen fundamentalen Bedingungen der räumlichen Tastvorstellungen, die in dem komplexen Lokalzeichensystem ihren Ausdruck finden, treten nun aber schließlich noch als unterstützende Momente jene direkten und reproduktiven Assimilationen hinzu, in denen teils verschiedene gleichzeitig stattfindende Eindrücke in Wechselwirkung treten, teils frühere, besonders durch häufige Wiederholung leicht disponible Vorstellungselemente neue Eindrücke beeinflussen, Wirkungen, in denen wiederum eine große Zahl sogenannter Sinnestäuschungen ihre Erklärung findet, und auf die außerdem alles die Tatsachen zurückführen, die man als »Einflüsse der Erfahrung« zu deuten pflegt. In Wahrheit sind alle diese Einflüsse assimilative Produkte des psychischen Mechanismus, die man erst rationalistisch in nicht existierende logische Reflexionen übertragen muß, um sie dem gewöhnlichen Begriff der Erfahrung unterzuordnen.

Vierzehntes Kapitel.

Räumliche Gesichtsvorstellungen.

1. Netzhautbild des ruhenden Auges.

a. Sehschärfe im direkten und indirekten Sehen.

Die Lage des Netzhautbildes wird, ebenso wie die Größe desselben, durch Linien bestimmt, die man sich von allen Punkten des Objektes durch einen für jeden Akkommodationszustand fest bestimmten optischen Kardinalpunkt des Auges, den Knotenpunkt, nach der Netzhaut gezogen denkt (Fig. 258 *k*, S. 545)[1]. Diese Linien sind die Richtungsstrahlen. Der Punkt, wo ein Richtungsstrahl die Netzhaut trifft, ist der dem Objektpunkt entsprechende Bildpunkt. Denken wir uns einen einzelnen leuchtenden Punkt im äußeren Raume wandern, so muß sich auch der ihm zugehörige Bildpunkt auf der Netzhaut, und zwar im entgegengesetzten Sinne, bewegen. Hierbei kann die Empfindung nicht vollkommen ungeändert bleiben, da die Qualität eines jeden Lichteindrucks, wenn man von der Mitte der Netzhaut auf die Seitenteile übergeht, sich stetig verändert, wobei die Empfindlichkeit der Farbenunterschiede geringer, diejenige für Helligkeiten aber größer wird (S. 187). Diesen Veränderungen geht nun, als eine dritte, die in der Schärfe der räumlichen Unterscheidung parallel. Man bezeichnet die letztere kurz als die Sehschärfe. Sie läßt sich, analog wie die räumliche Unterscheidung beim Tastsinn, durch die Raumschwelle messen, die man bei der Betrachtung zweier Punkte oder feiner Linien als kleinste Distanz findet, in welcher diese unterschieden werden. Prüft man auf solche Weise mittels des früher (Fig. 201, S. 189) beschriebenen Perimeters die verschiedenen Netzhautteile, indem man an Stelle der kleinen Lampe *h* ein aus zwei in ihrer Distanz variierbaren Linien bestehendes Sehobjekt anwendet, so

---

[1] Streng genommen existieren zwei Knotenpunkte, von denen bei der Einstellung des Auges auf unendliche Entfernung der erste nach HELMHOLTZ durchschnittlich 6,957, der zweite 7,373 mm hinter der vordern Hornhautfläche gelegen ist. Da hiernach die beiden Knotenpunkte einander sehr nahe liegen, so kann man denselben, für die meisten Zwecke mit ausreichender Genauigkeit, einen einzigen substituieren, der auch als Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen bezeichnet wird, und den man nach LISTING 0,476 mm vor der Hinterfläche der Linse annimmt. Legt man zwei Knotenpunkte zugrunde, so müssen jedem Richtungsstrahl zwei Linien substituiert werden, von denen die erste den Objektpunkt mit dem ersten Knotenpunkt verbindet, und die zweite parallel der ersten vom zweiten Knotenpunkt zur Netzhaut geführt wird.

zeigt die so bestimmte Raumschwelle oder Sehschärfe je nach der Entfernung vom Netzhautzentrum sehr große Unterschiede. Sie ist am feinsten in der Mitte der Netzhaut, am gelben Fleck, und nimmt auf den Seitenteilen sehr rasch ab. Eben darum bezeichnet man die Objekte, die sich auf dem gelben Fleck abbilden, als die direkt gesehenen und stellt ihnen alle andern, deren Bilder auf die Seitenteile fallen, als die indirekt gesehenen gegenüber. Denjenigen direkt gesehenen Punkt, dessen Bild genau in der Mitte der Zentralgrube liegt, nennt man den Fixations- oder Blickpunkt. Der dem Fixationspunkt entsprechende Richtungsstrahl wird die Gesichtslinie genannt, die durch denselben Punkt und den Drehpunkt des Auges gezogene Linie die Blicklinie. Beide Linien fallen so nahe zusammen, daß sie als identisch betrachtet werden können. Objekte direkt zu sehen steht bei normalem Auge in der Macht des Willens, da man dieselben zu diesem Zweck nur zu fixieren, d. h. die Gesichts- oder Blicklinie auf sie einzustellen braucht; alle Willkürlichkeit unserer Augenbewegungen besteht aber darin, daß wir den Fixationspunkt des Auges im Raume bestimmen. Schwieriger ist es, die indirekt gesehenen Objekte zu beobachten, weil wir gewohnt sind, die Gegenstände, auf welche sich unsere Aufmerksamkeit richtet, zugleich zu fixieren. Beim indirekten Sehen muß man jedoch diese natürliche Verbindung von Aufmerksamkeit und Fixation der Objekte zu lösen suchen, indem man ein Objekt fixiert, während man gleichzeitig einem andern, das im Bereich des indirekten Sehens liegt, seine Aufmerksamkeit zuwendet. Vergleicht man nun auf diese Weise zwei Objekte von gleicher Beschaffenheit, z. B. zwei kleine weiße Kreise auf schwarzem oder zwei schwarze auf weißem Grunde, so bemerkt man, daß sich der indirekt gesehene vom direkt gesehenen Punkt ähnlich unterscheidet, wie das Bild im nicht akkommodierten und im akkommodierten Auge. Der indirekt gesehene Punkt erscheint unbestimmter begrenzt. Größere Objekte können daher in bezug auf ihre Form, Größe und Begrenzung im indirekten Sehen nur undeutlich aufgefaßt werden. Eine genauere Vergleichung der Sehschärfe im direkten und indirekten Sehen gewinnt man mittels der oben angegebenen Perimetermethode, wobei man am zweckmäßigsten zwei dunkle Linien oder Punkte vor einem weißen Hintergrunde in so großer Distanz anbringt, daß sie an der untersuchten Stelle deutlich unterschieden werden können, und dann diese Distanz so lange stetig vermindert, bis die Linien oder Punkte eben zusammenfließen. Hierbei müssen aber diese zugleich immer größer genommen werden, auf je weiter seitlich gelegene Teile der Netzhaut man ihr Bild fallen läßt, damit sie noch wahrnehmbar seien. Will man bloß die Sehschärfe im direkten Sehen bestimmen, wie das für alle die Zwecke zureicht, wo es sich nur um die allgemeine Ermittelung der Sehtüchtig-

keit eines Auges handelt, so verzichtet man auf die Benutzung des Perimeters, und statt der Distanz der Sehobjekte verändert man die Entfernung des Sehenden von den Objekten. Man spannt also z. B. zwei parallele Kokon- oder Spinnwebenfäden in wenigen Millimeter Abstand vor einem weißen Hintergrunde aus, und mißt die Entfernung, in die das Auge gebracht werden muß, damit die Fäden in einen zusammenfließen. Denkt man sich dann die oben erwähnten Richtungsstrahlen gezogen, so lässt sich daraus ohne weiteres der bei der Raumschwelle vorhandene Gesichtswinkel und die diesem äquivalente Größe des Netzhautbildes berechnen. Für ein normales Auge entspricht die so ermittelte Raumschwelle des direkten Sehens in der Regel einem Gesichtswinkel von 90—60 Sekunden oder einer Bildgröße von 0,006—0,004 mm. Ähnliche Werte finden sich, wenn man, ein bei der Prüfung der Bildschärfe optischer Instrumente angewandtes Verfahren benutzend, die Grenze bestimmt, wo die Linien eines feinen Drahtgitters zusammenfließen. Ebenso liefern bei den Methoden, deren sich die Ophthalmologen zur Bestimmung der Sehschärfe bedienen (den sogenannten Leseproben nach SNELLEN oder JAEGER), einfache Linienzusammensetzungen von verschiedener Größe (z. B. Haken von den Formen ⊏ oder E), Werte, die zwar nicht direkt den eigentlichen Raumschwellen entsprechen, aber doch untereinander wohl vergleichbar und für direktes wie indirektes Sehen verwendbar sind[1]. In allen diesen Fällen ergeben sich viel größere Raumschwellen im indirekten als im direkten Sehen. Auch nehmen dieselben rasch zu mit der Entfernung von der Netzhautmitte. So fand AUBERT folgende Werte:

Abstand von der Netzhautmitte	Raumschwellen in Gesichtswinkeln
2° 40′	3′ 27″
3° 30′	6′ 53″
5°	17′ 11″
7°	34′ 22″
8° 30′	1° 9′

Bei weiterer seitlicher Verschiebung ist eine genauere Messung nicht mehr ausführbar. Doch läßt sich annähernd die Sehschärfe bei einem Abstand von 15° etwa auf $^1/_{10}$, bei 30—40° auf $^1/_{100}$ der im direkten

[1] Als Maß der Sehschärfe pflegt man in diesem Fall nach SNELLEN einen Gesichtswinkel von 5′ als willkürliche Einheit und als Maß der Sehschärfe V den Quotienten $V = \frac{d}{D}$ anzunehmen, wo D den Abstand bedeutet, in welchem der Durchmesser des Zeichens einem Gesichtswinkel von 5′ entspricht, und d diejenige Distanz, in welcher dasselbe Zeichen noch eben erkannt werden kann. Näheres über die Akkommodationserscheinungen vgl. bei C. HESS, in GRAEFE und SÄMISCHS Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 3. 2. Aufl., sowie die übersichtliche Darstellung der Dioptrik von F. SCHENCK in NAGELS Lehrb. der Physiologie, Bd. 3, S. 30 ff.

Sehen beobachteten schätzen. Übrigens erfolgt auch hier, ähnlich wie bei der Farbenempfindlichkeit (S. 185), diese Abnahme nach den verschiedenen Meridianen, die man sich durch die Netzhautmitte gelegt denken kann, mit etwas verschiedener Geschwindigkeit, und es pflegen in dieser Beziehung sogar die beiden Augen eines und desselben Beobachters voneinander abzuweichen: allgemein ist aber der horizontale Netzhautmeridian gegenüber dem vertikalen, und in jenem wieder die temporale gegenüber der nasalen Seite bevorzugt[1].

Wie die nach der WEBERschen Zirkelmethode gewonnenen Raumschwellen des Tastsinns, so sind nun auch diese prinzipiell mit ihnen übereinstimmenden der Sehschärfe keineswegs feste Werte, sondern sie besitzen, abgesehen von den Schwankungen, die sie infolge pathologischer Zustände des Sehorgans und der gewöhnlichen Abnahme der Sehschärfe im höheren Alter darbieten, gleich allen solchen Schwellenbegriffen, in gewissem Grad eine konventionelle Bedeutung. Dies zeigt sich schon darin, daß, wie bereits VOLKMANN fand, nicht bloß die Übung namentlich im indirekten Sehen die gefundenen Werte sehr verringern kann, sondern daß auch mit der Feinheit der Linien die Raumschwellen beträchtlich abnehmen. Er fand so, daß im direkten Sehen die eben noch unterscheidbare Distanz im Netzhautbilde günstigen Falls bis auf 0,0007 mm herabgehen konnte[2]. Da nun im indirekten Sehen die Versuche überhaupt nur mit dickeren Linien ausgeführt werden können, so erhellt hieraus zugleich, daß die in beiden Fällen gefundenen Raumschwellen eigentlich nicht unmittelbar miteinander vergleichbar sind. Ebenso sind diese Raumschwellen auf keine Weise als Werte zu betrachten, die die Grenze für die Wahrnehmung beliebiger räumlicher Unterschiede, z. B. auch die der Form und Richtung der Konturen, bestimmen. Vielmehr können einerseits zur Unterscheidung der Formen räumlicher Objekte, z. B. einer fünf- und einer sechseckigen kleinen Fläche, Größendifferenzen erforderlich sein, die die oben definierten Raumschwellen namentlich im indirekten Sehen bedeutend überschreiten; und es können anderseits Richtungsänderungen oder Lageverschiebungen der Teile einer Linie noch bei Raumwerten erkannt werden, die weit unter der nach dem eben wahrnehmbaren Zwischenraum definierten Raumschwelle bleiben. So fand WÜLFING, als er die zwei Hälften einer feinen geraden Linie mittels eines Mikrometers gegeneinander verschob, daß solche Verschiebungen noch bei einem Gesichtswinkel von 12—10″ erkannt wurden; und zu denselben Grenzwerten führten Bestimmungen, die PULFRICH

---

[1] AUBERT, Physiologie der Netzhaut, S. 235 ff.
[2] VOLKMANN, Optische Untersuchungen, I, S. 65.

sowie HERING mittels der Erkennung kleiner Richtungsunterschiede der Netzhautbilder beider Augen im Stereoskop ausführten (vgl. unten 5, e)[1]. Offenbar handelt es sich hier um ähnliche Verhältnisse, wie sie uns bereits beim Tastsinn begegnet sind, wo ebenfalls innerhalb der durch den Zirkelversuch bestimmten Raumschwelle noch Richtungen und Richtungsänderungen deutlich aufgefaßt werden können. Die Raumschwelle, als Grenze der Distanz zweier unterscheidbarer Punkte, ist eben, auch wenn sie das gleichförmigste und darum jedem andern vorzuziehende Maß der Sehschärfe abgibt, darum doch keineswegs auch ein Maß für alle möglichen Verhältnisse der räumlichen Auffassung, auf die neben der Sehschärfe noch andere, die gesamte räumliche Wahrnehmung bestimmende Bedingungen von Einfluß sein können.

Handelt es sich demnach in diesen Fällen nicht sowohl um Abweichungen der Raumschwelle, als um Verhältnisse der Raumwahrnehmung, die außerhalb dieses Begriffs liegen, so bietet dagegen auch hier der Zustand der Dunkeladaptation sehr bedeutende Verschiebungen in den Werten der Raumschwelle selbst, namentlich wenn man wiederum die Verhältnisse des direkten und indirekten Sehens in Betracht zieht. Die im Tageslicht von der Mitte nach den Seitenteilen der Netzhaut hin sehr rasch abfallende Sehschärfe gleicht sich nämlich bei vollständiger Dunkeladaptation aus, so daß nun die Netzhautmitte nicht nur ihr Übergewicht über die Seitenteile verliert, sondern sogar unter die Leistung der unmittelbaren Nachbarzone der Zentralgrube herabzusinken scheint. Die Fig. 254 veranschaulicht diese Verhältnisse. Die Linie *nn* repräsentiert den durch das Zentrum *c* gelegten horizontalen Netzhautmeridian, auf welchem in Winkelgraden die Entfernungen von der Netzhautmitte angegeben sind; *ab* entspricht der Ausdehnung der Macula lutea, die auf der Nasalseite zwischen 10 und 20° liegende Lücke dem blinden Fleck, dessen Erscheinungen unten näher erörtert werden sollen. Die ausgezogene Linie stellt den Gang der Sehschärfe bei Helladaptation, die unterbrochene den bei Dunkeladaptation dar. So lange ein Eindruck in den einem Winkel von etwa 5° entsprechenden Bezirk *ab* fällt, wird er bei Helladaptation noch scharf erkannt. Bei Dunkeladaptation verläuft die ganze Kurve nahezu der Abszissenlinie parallel. So fand z. B. A. E. FICK für sein eigenes Auge folgende Werte der relativen Sehschärfe:

Entfernung vom Netzhautzentrum (temporal)	0°	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
Helladaptation	2,38	0,50	0,36	0,19	0,11	0,07	0,05	0,04	0,03
Dunkeladaptation	0,04	0,07	0,08	0,07	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03

[1] WÜLFING, Zeitschrift für Biologie. N. F. Bd. 11, 1893, S. 199. HERING, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Kl. 1899, S. 16.

Daraus ergibt sich, daß im Zustand der Dunkeladaption die Sehschärfe auf der ganzen Netzhaut ungefähr auf die Größe herabsinkt, die sie bei Helladaptation jenseits einer Grenze von 40° besitzt. In Zwischenzuständen der Adaptation ist dann wohl auch das Verhalten, analog wie bei der Farbenempfindung, ein mittleres. Hierin tritt, zusammen mit den früher schon hervorgehobenen Eigenschaften der genauesten Farbenunterscheidung und der geringsten Ermüdbarkeit, der große Vorzug der normalen Tageshelle für die Funktionen des Sehens deutlich hervor[1].

Da der Durchmesser der in der Zentralgrube der Netzhaut liegenden Zapfen nach den Messungen von H. MÜLLER, M. SCHULTZE und W. KRAUSE 0,0015—0,0030 mm beträgt, so scheint nach den obigen Bestimmungen die Sehschärfe im direkten Sehen in der Regel etwa dem Durchmesser von zwei Zapfen zu entsprechen, in günstigsten Fällen aber bis auf den eines Zapfens oder selbst darunter zu sinken. In Übereinstimmung hiermit fand CLAUDE DU BOIS-REYMOND, daß sich gleichmäßig auf einer Fläche verteilte Lichtpunkte zu leuchtenden Linien vereinigten, wenn ihre auf die Flächeneinheit kommende Anzahl etwa der

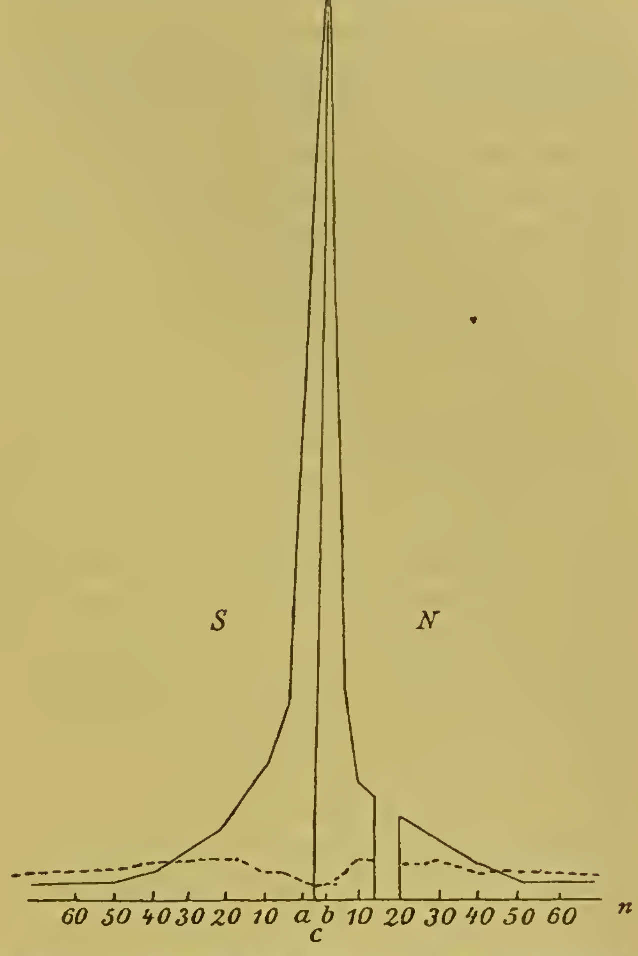


Fig. 254. Abstufung der Sehschärfe im horizontalen Netzhautmeridian bei Hell- und Dunkeladaptation, nach A. E. FICK. *S* Schläfenseite. *N* Nasenseite.

[1] A. E. FICK, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 45, 1898, S. 336 ff. FICK benutzte zur Bestimmung der Sehschärfe Haken von der Form ⊏ und berechnete die relativen Maße der Sehschärfe nach der oben angegebenen SNELLENschen Methode. E. W. KATZENELLENBOGEN (Psychol. Stud. Bd. 3, 1907, S. 272 ff.) verwendete parallele gerade Linien und einen Perimeterapparat, bei dem ein symmetrisches Objekt auf der entgegengesetzten Seite zur Vermeidung unwillkürlicher Blickabweichungen von der Fixationsstellung angebracht war. Seine Resultate stimmten im ganzen mit denen FICKs überein. Nur fand er, daß über etwa 50° seitlich die helladaptierte Netzhaut wieder der dunkeladaptierten an Sehschärfe überlegen war.

halben Anzahl der auf die entsprechende Flächeneinheit des Netzhautbildes kommenden Zapfen gleich war, und daß die Punkte in einen nach allen Richtungen diffusen Eindruck verschmolzen, wenn jene Anzahl die der Zapfen erreichte[1]. Ähnliche Verhältnisse fand TH. WERTHEIM für die Gebiete jenseits der Zentralgrube[2].

Schon nach diesen Ergebnissen läßt sich kaum annehmen, daß die Sehschärfe im direkten wie indirekten Sehen durch den Durchmesser und die Dichtigkeit der Zapfen und Stäbchen unveränderlich bestimmt werde. Allerdings scheint es, daß in der Netzhautmitte, wo die Zapfen unmittelbar aneinander stoßen, der Durchmesser derselben die Grenze, die unter günstigen Bedingungen erreicht werden kann, annähernd bezeichnet. Auch das Sinken der Sehschärfe auf den Seitenteilen der Netzhaut ließe sich wohl im allgemeinen auf die Abnahme der Sehzellen und die Zunahme des zwischen ihnen liegenden interstitiellen Gewebes zurückführen. Jedoch eine feste, unveränderliche Beziehung zwischen Sehschärfe und Dichtigkeit der Netzhautelemente in dem Sinne, daß Raumunterscheidung und Reizung verschiedener Sehelemente immer aneinander gebunden wären, ist nicht aufrecht zu erhalten. Abgesehen davon, daß unter günstigen Umständen die Raumschwelle im direkten Sehen unter den Betrag eines Zapfendurchmessers herabgehen kann, und daß die Wahrnehmungen von Richtungsänderungen und Linienverschiebungen dies sogar regelmäßig tun, sind die im indirekten Sehen gefundenen Raumschwellen so groß, daß namentlich in den äußersten Regionen der Netzhaut die Eindrücke zweier distinkter Punkte in der Regel unsichtbar sein müßten und nur gelegentlich und zufällig einmal im Sehfelde aufleuchten könnten, wenn die hier auf mehrere Winkelgrade herabgesetzte Sehschärfe der Distanz empfindender Punkte entsprechen sollte, Eindrücke, die zwischen diese Punkte fallen, also überhaupt nicht empfunden würden. Vollends unmöglich ist es aber, die starke und nahezu gleichförmige Vergrößerung der Raumschwelle bei der Dunkeladaptation mit

---

[1] CLAUDE DU BOIS-REYMOND, Über die Zahl der Empfindungskreise in der Netzhaut. Dissert. Berlin. 1881. Freilich sind die Grundlagen dieser Berechnung nicht unbestritten. Sie bestehen in den mikroskopischen Zählungen F. SALZERS (Wiener Sitzungsber. 3, Bd. 81, S. 7), der auf 0,001 qmm der Fovea centr. 132—138 Zapfen fand. W. KRAUSE hält aber die von SALZER angewandte Methode für unzuverlässig, und er schätzt seinerseits die Anzahl doppelt so groß. (W. KRAUSE, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 26, 2, S. 102.) Das Verhältnis der sämtlichen Optikusfasern zur Gesamtzahl der Zapfen schätzt SALZER auf 1 : 7,67, womit auch KRAUSE annähernd übereinstimmt. Hinsichtlich der absoluten Anzahl der Fasern und der Zapfen differieren aber beide Beobachter sehr bedeutend, da SALZER die ersteren auf etwa $^1/_2$ Million, die letzteren auf 3—3,6 Mill., KRAUSE jene auf 1 Mill., diese auf 7 Mill. schätzt. Auch ist nicht zu übersehen, daß durch die neueren Nachweise über das Vorkommen zentrifugal leitender Fasern im Sehnerven eine einfache Beziehung zwischen den sogenannten Seheinheiten der Netzhaut und den Nervenfasern, wie sie wohl früher vermutet wurde, nicht existieren kann.

[2] WERTHEIM, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 33, 2, S. 137 ff.

einer solchen Vorstellungsweise zu vereinigen. Ebenso dürfte die von A. E. FICK aufgestellte Hypothese einer bloß für die Helladaptation maßgebenden »Zapfensehschärfe« und einer nur bei der Dunkeladaptation hervortretenden »Stäbchensehschärfe« weder mit den Begriffen der Raumschwelle und Sehschärfe überhaupt, noch mit dem sonstigen Einfluß der räumlichen Verteilung der Sehelemente in eine verständliche Beziehung zu bringen sein. Denn diese Unterscheidung wäre doch nur dann berechtigt, wenn bei Dunkeladaptation die Zapfen und bei Helladaptation die Stäbchen überhaupt unempfindlich wären. Dann müßte aber erstens die ganze Zentralgrube im Dunkeln blind sein, was weder für die qualitative Seite der Lichtempfindungen (S. 187) noch, wie FICKs eigene Versuche lehren, für die Raumschwelle zutrifft; und es müßte zweitens umgekehrt die periphere Netzhaut von der Region an, wo die Sehschärfe bei Hell- und Dunkeladaptation keine Unterschiede mehr zeigt, bei Helladaptation blind sein. So viel sich beobachten läßt, sind aber irgend merkliche Unterschiede der Ausdehnung des Sehfeldes in beiden Fällen überhaupt nicht vorhanden. Alle diese Erwägungen führen zu dem Ergebnis, daß die Dichtigkeit der Netzhautelemente zwar ein wichtiger Faktor der Sehschärfe, daß er aber auf keinen Fall der einzige ist. Trifft dies zu, so muß nun offenbar die Hypothese der festen, mit bestimmten anatomischen Verhältnissen zusammenfallenden »Empfindungskreise« für die Netzhaut so gut wie für die äußere Haut verlassen werden; und es kann auch hier dieser Faktor der Dichtigkeit nur als ein indirekter, durch seinen Einfluß auf die Sensibilitätsverhältnisse der Sehfläche, nicht durch die objektive räumliche Ordnung der Elemente an sich maßgebender angesehen werden. Demgemäß werden wir voraussetzen dürfen, daß mit der Verteilung der Sehelemente Abstufungen der Empfindung zusammenhängen, die bei der für das normale Sehen günstigsten Helladaptation mit der Dichtigkeit der Elemente gleichen Schritt halten, während sie durch alle Einflüsse, die irgendwie die Lichtempfindlichkeit beeinträchtigen, Veränderungen erfahren, bei denen andere Momente überwiegen. Insbesondere gilt dies von dem Zustand der Dunkeladaptation, in welchem der Einfluß der Dichtigkeit der Elemente offenbar durch die Verminderung ihrer Empfindlichkeit kompensiert wird, eine Veränderung, die, wie dies ja bereits die Verhältnisse der Farbenempfindung gelehrt haben, hauptsächlich das Netzhautzentrum trifft.

b. Der blinde Fleck und die Metamorphopsien.

Mit dem Einfluß, welchen die Sehelemente der Netzhaut, die Stäbchen und Zapfen, auf die räumliche Unterscheidung der Lichteindrücke besitzen, hängen die Erscheinungen, die sich bei der Nachweisung des

blinden Flecks beobachten lassen, nahe zusammen. Dieser, der nach seinem Entdecker auch der MARIOTTEsche Fleck genannt wird, entspricht nach Lage und Größe genau der Eintrittsstelle des Sehnerven, an der die Stäbchen und Zapfen sowie alle andern nervösen Elemente mit Ausnahme der Optikusfasern vollständig fehlen. Er hat einen Durchmesser von 6° oder 1,5 mm, und seine Mitte liegt etwa 15° oder 4 mm gerade nach innen vom Zentrum der Macula lutea[1]. Wegen der umgekehrten Lage des Netzhautbildes werden daher Objekte, die in der entsprechenden Entfernung nach außen vom Fixationspunkte liegen, nicht wahrgenommen, sobald sie in den Bereich des blinden Flecks fallen. Fixiert man z. B., während das rechte Auge geschlossen ist, mit dem linken das obere Kreuzchen in Fig. 255 und hält das Buch in etwa 1 Fuß Entfernung, so verschwindet der größere Kreis vollständig. Sobald man aber nur um weniges das Auge näher oder ferner bringt, oder mit der Fixation auf das untere Kreuzchen übergeht, so taucht derselbe wieder



Fig. 255. Objekt für die Wahrnehmung des blinden Flecks.

auf. Davon, daß dies Verschwinden nicht von der Undeutlichkeit der Bilder im indirekten Sehen herrührt, überzeugt man sich am zwingendsten, wenn man, wie in Fig. 255, rechts und links von dem größeren zwei kleinere Kreise anbringt, die, da sie außerhalb der blinden Stelle liegen, vollkommen deutlich gesehen werden, während der größere Kreis verschwindet. E. H. WEBER und verschiedene andere Beobachter fanden, daß, wenn man eine regelmäßige Figur, z. B. eine Kreislinie, in der an einer Stelle eine Lücke geblieben ist, im indirekten Sehen betrachtet, man zuweilen die vollständige Kreislinie zu sehen glaubt, sobald die Lücke in den blinden Fleck fällt[2]. Bei geschärfter Aufmerksamkeit verschwinden jedoch diese Erscheinungen, und man bemerkt deutlich, daß

---

[1] Genauere Maßangaben siehe bei HELMHOLTZ, Physiolog. Optik, S. 212, [2] S. 253, und AUBERT, Physiologie der Netzhaut, S. 258.

[2] E. H. WEBER, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1852, S. 149. VOLKMANN, ebend. S. 27. VON WITTICH, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 9, 3, 1863, S. 9.

die Konturen einer Zeichnung, die nur teilweise in den blinden Fleck reicht, an der Stelle des letzteren unterbrochen erscheinen. Dagegen wird die blinde Stelle im allgemeinen mit dem gleichmäßigen Hintergrund ausgefüllt, auf dem sich die Zeichnung befindet. Ebenso verschwinden auf derselben die Typen einer Druckschrift, um die scheinbar leere Papierfläche zurückzulassen. Ist der Hintergrund farbig, so erscheint nach dem Verschwinden der Objekte auch die blinde Stelle in der Farbe des Hintergrundes. Doch ist in diesem Fall die Lichtbeschaffenheit etwas unbestimmter als bei farbloser Beleuchtung. Ferner bemerkt man in Fig. 255 deutlich, daß die scheinbare Distanz der kleineren Kreise völlig unverändert bleibt, ob der große Kreis auf den blinden Fleck fällt oder nicht. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man den Fixierpunkt zwischen dem oberen und dem unteren Kreuzchen hin- und herbewegt. Indem wir also die blinde Stelle mit der dem vorherrschenden Lichteindruck des ganzen Sehfeldes entsprechenden Empfindung ausfüllen, besitzt diese Stelle zugleich für unser Sehen denselben räumlichen Wert wie irgendeine andere, sehende Stelle der Netzhaut[1].

Genau die gleichen Erscheinungen werden beobachtet, wenn infolge pathologischer Prozesse blinde Stellen von größerem Umfang (die sogenannten negativen Skotome der Ophthalmologen, so genannt zur Unterscheidung von den durch undurchsichtige Ausscheidungen vor der Netzhaut bestehenden positiven Skotomen) an andern Stellen des Sehfeldes auftreten. Es können dann, falls diese blinden Stellen der Region des direkten Sehens näher rücken, die Erscheinungen noch viel deutlicher beobachtet werden. Ich selbst bemerke so an dem genau der Macula lutea meines rechten Auges entsprechenden blinden Fleck von 4—5° im Durchmesser sehr deutlich die Ausfüllung mit dem gleichförmigen Licht der Umgebung, während dagegen bei dem Hereinreichen irgendwelcher näher differenzierter Bilder, Teilen geometrischer Figuren, Druckschriften u. dergl., das Bild an der Grenze der blinden Stelle scharf abbricht. Auch hier erscheint die räumliche Distanz eines diesseits und jenseits gelegenen

---

[1] In bezug auf das Verschwinden einzelner Teile von Objekten, die auf den blinden Fleck fallen, kann ich mich hiernach den ähnlichen Angaben von AUBERT (Physiologie der Netzhaut, S. 257) und von HELMHOLTZ (Physiolog. Optik, S. 575) anschließen. Wenn jedoch AUBERT bemerkt, daß er mit der blinden Stelle überhaupt nichts sehe, und HELMHOLTZ dieselbe mit derjenigen Lücke des Sehfeldes vergleicht, die sich hinter unserm Rücken befindet (a. a. O. S. 577), so scheint mir dies keine zutreffende Beschreibung der Tatsachen zu sein. Man sieht die blinde Stelle anders, wenn man wie oben einen weißen Kreis auf schwarzem Grunde, als wenn man umgekehrt einen schwarzen Kreis auf weißem Grunde wählt: dort erscheint sie schwarz, hier weiß. Daß eine solche Ausfüllung nur auf einem zentralen Vorgang beruhen kann, ist übrigens selbstverständlich; auch weisen auf diesen die früher (S. 270 Anm. 1) erwähnten Kontrasterscheinungen hin, die ich an meinem erworbenen blinden Fleck beobachtete.

Eindrucks vollkommen unverändert gegenüber einer parallelen Strecke, die außerhalb der blinden Stelle fällt.

Diesen Beobachtungen, die man an dem natürlichen oder an irgendeinem erworbenen blinden Fleck der Netzhaut machen kann, entspricht nun sichtlich die weitere Tatsache, daß im indirekten Sehen, trotz der beträchtlichen Verminderung, die hier die Sehschärfe erfährt, eine wesentliche Veränderung der Auffassung räumlicher Strecken nicht eintritt. Wenn man z. B. zwei parallele gerade Linien zieht, von denen die eine durch den Fixierpunkt geht, die andere bloß indirekt gesehen wird, so erscheinen beide gleich lang. Demgegenüber fand allerdings GUILLERY[1], als er in zahlreichen Versuchen zentral und peripher gelegene Distanzen aufeinander einstellte, daß die peripheren den zentralen gegenüber unterschätzt wurden. Aber die von ihm gefundenen Unterschiede sind so klein, daß sie gegenüber den ungeheuren Unterschieden der zentralen und peripheren Raumschwellen nicht in Betracht kommen, daher sie denn auch offenbar leicht, wie der oben erwähnte Versuch mit den parallelen Linien zeigt, durch entgegengesetzte Assimilationswirkungen kompensiert werden können. Ebenso bemerkt man bei den oben beschriebenen Versuchen über die Raumschwelle im direkten und indirekten Sehen, daß im Moment, wo die zwei Linien oder Punkte unterschieden werden, ihre Distanz auf einer stark seitlich gelegenen Stelle, sobald sie die Schwelle erreicht hat, sofort als eine sehr beträchtliche erscheint. Dies sind Tatsachen, die uns genau in derselben Weise schon beim Tastsinn begegnet sind (S. 465). Sie beweisen, daß Schärfe der räumlichen Unterscheidung und extensive Vorstellung auch beim Gesichtssinn wesentlich voneinander verschiedene Funktionen sind.

Mit dieser Folgerung scheinen nun auf den ersten Blick solche Erscheinungen des Sehens im Widerspruch zu stehen, die infolge pathologischer Dislokationen einzelner Netzhautteile, wie sie namentlich bei exsudativen Prozessen vorkommen, beobachtet werden. Diese Erscheinungen sind von den Ophthalmologen als Metamorphopsien bezeichnet worden[2]. Sie entsprechen durchaus der Regel, daß jeder Objektpunkt durch die veränderte Netzhautstelle so lokalisiert wird, wie es der früheren, normalen Lage ihrer dislozierten Elemente entsprechen würde. Gerade Linien können gekrümmt oder geknickt, oder Objekte vergrößert oder verkleinert gesehen werden, ersteres wenn die Stäbchen und Zapfen dichter aneinander gedrängt, letzteres wenn sie auseinander gezerrt

---

[1] GUILLERY, Zeitschr. für Psychol. Bd. 10, 1896, S. 83 ff.

[2] Vgl. LEBER, in GRAEFE und SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 5, II, S. 612, und die dort S. 619 angeführte Literatur.

werden. Bei der Beurteilung dieser Erscheinungen ist jedoch nicht zu übersehen, daß es sich bei ihnen im allgemeinen nicht um stabile Zustände handelt, wie bei einem blinden Fleck, mag es der natürliche oder ein erworbener sein, oder wie bei den Distanzverhältnissen der Sehelemente in den verschiedenen Regionen der Retina, sondern um veränderliche, entweder von Tag zu Tag oder mindestens von Woche zu Woche sich vollziehende Lageverschiebungen. Der reguläre Ausgang dieser Krankheitsprozesse kann nun ein doppelter sein: entweder verschwinden die Exsudate vollständig wieder und damit natürlich auch die Dislokationen und Metamorphopsien; oder die betroffene Stelle erblindet: es entsteht ein erworbener blinder Fleck mit den oben geschilderten Erscheinungen, wo also ebenfalls, da solche Sehlücken die Auffassung räumlicher Distanzen nicht beeinflussen, die Bildverzerrungen verschwinden. In seltenen Fällen kann aber doch noch ein anderer Ausgang vorkommen; es kann sich nämlich nach Ablauf der Erkrankung ein stabiler Zustand wiederherstellen, bei dem gleichwohl eine völlige Rückkehr der dislozierten Retinaelemente zu ihren Ausgangsorten wegen der sonstigen begleitenden Umstände unwahrscheinlich ist. Was tritt dann ein? Die Beobachtung scheint zu zeigen, daß sich in solchen Fällen nach Eintritt des stabilen Zustandes, obgleich aller Wahrscheinlichkeit nach die Dislokation der Sehelemente nicht völlig gehoben ist, doch die normale räumliche Orientierung der Teile eines Bildes wiederherstellen kann. Ich habe diesen Fall an mir selbst erlebt, als Folge einer durch Jahre sich hinziehenden disseminierten Aderhautentzündung des rechten Auges, welche überaus starke Bildverzerrungen im Zentrum des Sehfeldes und in dessen Umgebung herbeigeführt hatte. Die Fig. 256 zeigt das Bild eines schachbrettartigen, regelmäßig quadratischen Musters, wie es sich dem kranken Auge darstellte, und zwar in A in einem Stadium, in welchem bereits Erblindung der Zentralgrube, mit Ausnahme der zentralsten Stelle, eingetreten, die Verzerrung in der Umgebung in Rückgang begriffen und der entzündliche Prozeß selbst abgelaufen war, die Fig. 256 B in dem stabilen Zustand, wie er jetzt noch besteht und sich nicht mehr weiter verändert hat, abgesehen davon, daß jetzt auch der hier noch lichtempfindliche Punkt im Zentrum erblindet ist[1]. Nun sind an sich natürlich zwei Deutungen dieses Befundes möglich: es können entweder die dislozierten Netzhautelemente mit mathematischer Genauigkeit in ihre ursprünglichen Lagen zurückgekehrt sein; oder sie können sich, nachdem der Zustand stabil geworden, im Laufe der Zeit den neuen

[1] Vgl. die nähere Beschreibung des Verlaufs dieser Erscheinungen Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 7 ff.

Verhältnissen angepaßt haben. Weder die eine noch die andere dieser Deutungen läßt sich beweisen. Die erste scheint mir aber, im Hinblick auf den Umfang der ursprünglichen Verzerrungen und auf die starke Gewebskontraktion, die bei der Entstehung des die ganze Zentralgrube ausfüllenden Narbengewebes voraussichtlich eingetreten ist, unwahrscheinlich. Gibt man dies zu, so ist hieraus zu schließen, daß die Beziehung der Netzhautpunkte zu äußeren Punkten im Raum nicht auf ursprünglichen und absolut unveränderlichen Eigenschaften beruht, die den Netzhautpunkten an und für sich zukommen, sondern daß sie, wie das übrigens schon die Unabhängigkeit der extensiven Vorstellungsgröße von der Anordnung der Elemente in der normalen Retina wahrscheinlich macht, aus der Zuordnung der Sehelemente zu den übrigen funktionellen

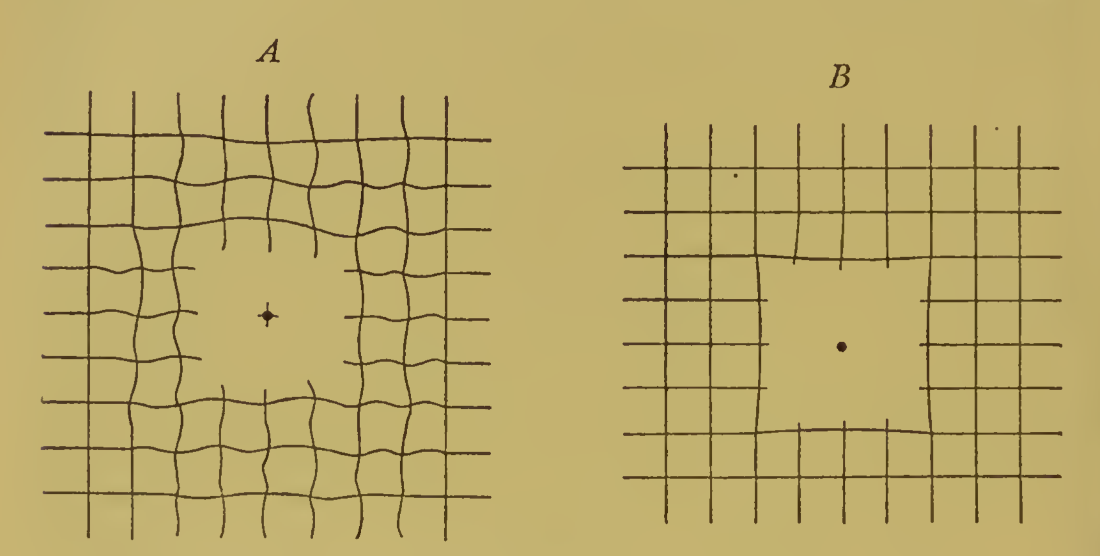


Fig. 256. Retinale Metamorphopsien in verschiedenen Stadien des Rückgangs.

Bestandteilen des Sehprozesses entspringt. Diese regelmäßige Zuordnung setzt selbstverständlich eine gewisse Stabilität der Lage voraus. Aber sie schließt nicht aus, daß, wo die ursprüngliche Zuordnung aufgehoben worden ist, im Laufe der Zeit eine neue sich herstellt.

Diese Folgerung wird nun durchaus durch den Verlauf gewisser anderer analoger Erscheinungen bestätigt, die wir in einem weiteren Sinne ebenfalls dem Begriff der Metamorphopsie zuzählen und von den soeben beschriebenen retinalen als dioptrische Metamorphopsien unterscheiden können. So lassen sich nämlich diejenigen Bildverzerrungen nennen, welche durch die vor der Retina gelegenen brechenden Medien verursacht werden, mögen nun diese dem Auge selbst oder künstlichen optischen Hilfsmitteln angehören. Hier sind aber die letzteren, weil sie sich jederzeit willkürlich einführen und wieder entfernen lassen, leicht der

Untersuchung zugänglich. Da solche Versuche bei einiger Vorsicht ganz ungefährlich sind, so kann sie jedermann ohne Bedenken an sich selbst ausführen. Man lasse sich eine prismatische Brille anfertigen, deren brechender Winkel zweckmäßig, um störende Farbenwirkungen zu vermeiden, 5—6° nicht überschreitet. Durch eine solche Brille erscheinen zunächst geradlinige Konturen gebogen, ebene Flächen gewölbt, und kompliziertere Bilder dem entsprechend verzerrt. Entschließt man sich aber eine solche Brille dauernd zu tragen, so verschwinden die Verzerrungen schon nach wenigen Tagen: man sieht jetzt die Gegenstände ebenso gerade wie mit bloßem Auge oder mit einer nicht prismatischen Brille. Da nun das Bild auf der Netzhaut in diesem Fall immer dasselbe bleibt, so kann diese Aufhebung der Verzerrung nur auf eine Anpassung der Netzhautelemente an die neuen Bedingungen des Sehens zurückgeführt werden. Ähnliche Erscheinungen werden von den Augenärzten namentlich bei der Behandlung Schielender mittels prismatischer Gläser beobachtet[1]. Daß sie mit einer festen Netzhautlokalisation nicht vereinbar sind, ist augenfällig. Dagegen lassen sie sich auf Grund der Annahme eines Zusammenwirkens beider Faktoren, der lokalen Färbungen der Netzhautempfindung und der Spannungsempfindungen des Auges, ohne weiteres verstehen. Es bezeichne z. B. in Fig. 257 die Gerade ag eine horizontale Bewegungsrichtung, während die Punkte b, c, d, e, f ihr entsprechende fixe Lokalzeichen der Netzhaut andeuten. Nun können beide Faktoren, Bewegung und lokale Färbung der Empfindung, nur so lange ungestört zusammenwirken, als bei der Bewegung des Auges von a nach g die in der Netzhaut festen Lokalzeichen b, c, d kollineare Verschiebungen erfahren, so daß Teile des Bildes, die in einem bestimmten Stadium der Bewegung in der Geraden ag liegen, auch in jedem andern Stadium darin bleiben. Gesetzt dagegen, es trete eine Bildverzerrung ein, infolge deren die Bildpunkte b, c, d . . . nach b', c', d' . . . verschoben werden, so wird als geradlinig in der Richtung der Augenbewegung ag ein Netzhautbild auf-

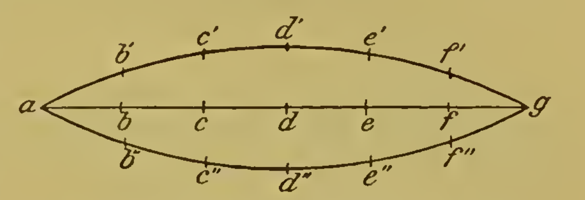


Fig. 257. Schema der Entstehung und Ausgleichung dioptrischer Metamorphopsien.

[1] Ein ophthalmologischer Kollege, Herr Prof. Dr. O. SCHWARZ, hat, wie er mir mitteilte, in einem Falle, wo eine prismatische Brille wegen sogenannter »dynamischer Konvergenz« längere Zeit beständig getragen und dann plötzlich wieder abgelegt wurde, diese Beobachtung noch durch eine andere sehr interessante ergänzt. Die zuerst gesehenen Verzerrungen verschwanden auch hier nach längerem Tragen der Brille. Als jedoch die Brille abgelegt wurde, traten sie wieder ein, und zwar im entgegengesetzten Sinne wie vorher, bis nach einiger Zeit auch diese Verzerrungen wieder verschwanden.

gefaßt werden, das symmetrisch in entgegengesetzter Richtung gekrümmt ist, und es werden daher die diesem umgekehrten Netzhautbild entsprechenden Lokalzeichen *b''*, *c''*, *d''* . . . nunmehr der geradlinigen Augenbewegung zugeordnet sein. Dann ist aber eine kollineare Verschiebung der einzelnen Linienstrecken im subjektiven Netzhautbilde während der Bewegung nicht mehr möglich, sondern die Punkte einer scheinbaren Geraden müßten dabei fortwährende Drehungen erfahren. In der Tat beobachtet man, so lange die dioptrische Verzerrung andauert, eine auffallende Unruhe des Bildes. Diese verschwindet aber vollständig, wenn die neue Zuordnung eingetreten ist, bei der nun die Lokalzeichen *b''*, *c''*, *d''* . . . neue, den früheren *b*, *c*, *d* entsprechende Raumwerte übernommen haben und daher umgekehrt eine durch *b*, *c*, *d* . . . gelegte Linie gekrümmt erscheint [1].

c. Visierlinien und Umfang des Sehfeldes. Akkommodation und Irradiation.

Außer durch seine Bewegung auf der Netzhautfläche kann das Bild im ruhenden Auge Veränderungen erfahren, indem vor dem gesehenen Objekt ein zweites auftaucht, durch welches das erste verdeckt wird. Sind beide Objekte punktförmig, so kann nun aber vermöge der dioptrischen Eigenschaften des Auges immer nur eines von ihnen auch auf der Netzhaut annähernd punktförmig sich abbilden. Der andere Punkt erscheint daher von einem Zerstreuungskreis umgeben, dessen Größe mit der Differenz der Entfernungen der beiden Punkte zunimmt. Einen Punkt, auf dessen Entfernung das Auge durch den Akkommodationsapparat seiner Kristallinse eingestellt ist, bezeichnen wir als einen deutlich gesehenen, jeden andern in merklich verschiedener Distanz befindlichen als einen undeutlich gesehenen. Liegen die beiden Punkte, der deutlich und der undeutlich gesehene, in einer und derselben Richtungslinie, so umgibt demnach, wenn das Auge sich auf den einen Punkt akkommodiert, der Zerstreuungskreis des andern von allen Seiten das deutlich gesehene Bild des ersten. Nun wird der in das Auge fallende Lichtkegel durch die als Blendung wirkende Iris begrenzt: der Zerstreuungskreis hat daher die Form der Pupille, und die Mitte desselben, welche bei akkommodiertem Auge den Bildpunkt abgibt, entspricht dem Mittelpunkt der Pupille. Darum müssen, sobald ein ferner Punkt so durch einen näheren verdeckt wird, daß jener nur noch im Zerstreuungskreise gesehen werden kann, beide Punkte in einer geraden Linie liegen, die den Bild-

[1] Vgl. dazu Psychol. Stud. Bd. 1, S. 494 ff.

punkt auf der Netzhaut und den Mittelpunkt der Pupille schneidet. Dabei paßt sich die Form der Pupille durch ihre bei zunehmender Erleuchtung reflektorisch eintretende Verengerung ebenso der Lichtstärke an, wie die Linse durch ihre Akkommodation der Entfernung des gesehenen Punktes. Indem nun der Mittelpunkt der Pupille den Mittelpunkt aller Zerstreuungskreise bildet, wird jeder Punkt eines Objektes in einer Richtung gesehen, die durch jene seinen Bildpunkt mit dem Mittelpunkt der Pupille verbindende Gerade bestimmt ist. Diese Richtung wird daher eine Visierlinie genannt. Alle in einer Visierlinie gelegenen Punkte decken sich aber im Netzhautbilde mit den Mittelpunkten ihrer Zerstreuungskreise. Diejenige Visierlinie, die vom Netzhautzentrum ausgeht, nennt man die Hauptvisierlinie; sie fällt mit der Gesichtslinie, dem Hauptrichtungsstrahl, so nahe zusammen, daß dieser Unterschied für die meisten Zwecke vernachlässigt werden kann. Der Mittelpunkt der Pupille, in welchem sich alle Visierlinien schneiden, ist der Kreuzungspunkt der Visierlinien (Fig. 258 *v*). Derselbe ist von dem Knotenpunkt (*k*) oder Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen (S. 530, Anm. 1) verschieden. Denn während durch die Richtungsstrahlen die Lage und Größe des Bildes auf der Netzhaut, wird durch die Visierlinien die Richtung bestimmt, in der das Bild nach außen verlegt wird. Die Grenzpunkte eines Objektes $a\,b$, von dem ein Bild $\alpha\beta$ auf der Netzhaut entsteht, sehen wir also nicht bei a und b, sondern bei a' und b', gemäß der Richtung der Visierlinien. Für ferne Objekte fallen übrigens die Richtungsstrahlen und die Visierlinien so nahe zusammen, daß der Unterschied vernachlässigt werden kann. Der Winkel $a'\,v\,b'$, welchen die von den Grenzpunkten des Netzhautbildes gezogenen Visierlinien miteinander bilden, heißt der Gesichtswinkel. Er ist für uns im allgemeinen das Maß der Größe eines Gegenstandes. Denn Objekten, die unter gleichem Gesichtswinkel gesehen werden, entsprechen Netzhautbilder von gleicher Größe.

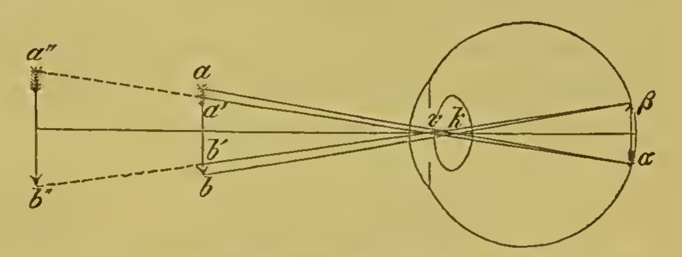


Fig. 258. Richtungsstrahlen und Visierlinien des Auges.

Die Fläche, in welche das ruhende Auge alle gleichzeitig sichtbaren Punkte in der Richtung der Visierlinien verlegt, nennen wir nun das Sehfeld des ruhenden Auges. In ihm wird der Abstand je zweier Punkte voneinander durch den Gesichtswinkel bemessen, den die nach ihnen gezogenen Visierlinien miteinander bilden. Die Ausdehnung des Sehfeldes selbst nach irgendeiner Richtung wird aber durch den Gesichtswinkel

zwischen der Hauptvisierlinie und derjenigen Visierlinie gemessen, die zu dem äußersten in der betreffenden Richtung gelegenen noch lichtempfindlichen Punkt gezogen wird. Da die Tiefenentfernungen, in welche sich die einzelnen Visierlinien erstrecken, hierbei unbestimmt bleiben, so ist das Sehfeld an sich eine Fläche von unbestimmter Form, die nur nach den Seiten hin gewisse, in jeder Richtung teils durch die aufhörende Empfindlichkeit der Netzhaut, teils aber auch durch hervortretende Teile des Angesichts bestimmte Grenzen hat. Diese Grenzen sind, von der den gelben Fleck mit der Mitte der Pupille verbindenden Hauptvisierlinie an gerechnet, nach den Messungen von FOERSTER und LANDOLT:

nach außen	70—85°	130—135°	nach oben	45—55°	110—120°
nach innen	50—60°		nach unten	65°	

Die Stelle des deutlichsten Sehens liegt demnach nicht vollständig in der Mitte des Sehfeldes, sondern nach innen und oben von derselben; dagegen nimmt der blinde Fleck ziemlich genau die Mitte ein. Beseitigt man durch Drehungen des Kopfes die Beschränkungen durch die Gesichtsknochen, so werden die Grenzen nach innen, oben und unten erheblich weiter. In diesem Falle fand LANDOLT:

nach außen	85°	160°	nach oben	73°	151° [1]
nach innen	75°		nach unten	78°	

Da weder der optische Apparat selbst bei genauester Einstellung der Akkommodation des Auges ein vollkommen exaktes Bild eines äußeren Gegenstandes entwirft, noch auch in der auffangenden Fläche der Netzhaut die Erregung auf die direkt durch das einfallende Licht getroffenen Stellen beschränkt bleibt, so ist nun in Wirklichkeit die Grenze zwischen deutlich und undeutlich gesehenen Punkten eine einigermaßen fließende. Ein leuchtender Punkt erscheint uns auch bei vollkommenster Akkommodation des Auges, sobald seine Lichtintensität eine gewisse Höhe erreicht oder der Kontrast gegen die Umgebung sich geltend macht, nicht als ein wirklicher Punkt, sondern er ist von einem schmalen lichten Hofe umgeben, aus dem an einzelnen Stellen, von Unregelmäßigkeiten in der Lichtbrechung in Linse und Hornhaut herrührend, einzelne strahlige Fortsätze hervorschießen können. Hierauf beruht die bekannte Strahlenfigur der Sterne, die infolge der individuellen Unterschiede der dioptrischen Eigenschaften für jedes Auge eine abweichende ist und besonders in ihrer Ausdehnung außerordentlich variiert.

---

[1] SNELLEN und LANDOLT, in GRAEFE und SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 3, I, S. 58.

Wie wir aber auf diese Weise einen einzelnen leuchtenden Punkt, auf den das Auge eingestellt ist, eigentlich als eine kleine leuchtende Fläche erblicken, die sich nur durch geringere Ausdehnung und schärfere Begrenzung von dem Bild eines undeutlich gesehenen Punktes unterscheidet, auf den das Auge nicht akkommodiert ist, so greifen die sichtbaren Grenzen eines ausgedehnten leuchtenden Gegenstandes, um so mehr, je heller er leuchtet, über die nach den Richtungsstrahlen bemessenen Grenzen hinaus. Helle Flächen auf dunklem Grunde erscheinen daher größer, dunkle auf hellem Grunde meist kleiner, als sie wirklich sind. In ihrer Abhängigkeit von der Differenz der Lichtstärken läßt sich diese unter dem Namen der Irradiation bekannte Erscheinung deutlich verfolgen, wenn man auf einem und demselben schwarzen Hintergrund graue und weiße Streifen von gleicher Größe anbringt, die nach ihrer Helligkeit eine aufsteigende Reihe bilden: es nimmt dann mit der wachsenden Helligkeit auch die scheinbare Breite der Streifen zu. Eine bekannte Folge dieser Irradiationswirkung ist es, daß in hellen Handschuhen oder Schuhen die Hände und Füße größer aussehen als in dunkeln. Starke Lichteindrücke können ferner durch die Irradiationswirkung ihre Umgebung vollständig verdrängen. Überdeckt man z. B. mit der Kante eines dunkeln Lineals die obere Hälfte einer Lichtflamme, so scheint das Lineal da, wo es die Flamme begrenzt, einen Ausschnitt zu haben, der wieder an der hellsten Stelle der Flamme am tiefsten ist. Man kann annehmen, daß diese Erscheinungen, die neben den Verhältnissen der Akkommodation in die Auffassung der Objekte und ihrer Begrenzung wesentlich mit eingreifen, im allgemeinen auf drei Momente zurückzuführen sind, die einzeln in verschiedenem Maße beteiligt sein können: 1) auf die dioptrische Unvollkommenheit des Auges, die »monochromatische Abweichung«, so genannt weil sie auch für einfarbige Strahlen von gleicher Brechbarkeit besteht, 2) auf Ungenauigkeiten der Akkommodation, und endlich 3) auf eine Ausbreitung der retinalen Erregung selbst. In letzterer Beziehung hängen die Erscheinungen wohl mit dem früher (S. 226) besprochenen »Randkontrast« zusammen, dessen positive Komplemente sie insofern sind, als sich bei der Irradiation die Erregung infolge der ihr eigenen Bedingungen in ihrer ursprünglichen Qualität ausbreitet, während beim Randkontrast, bei dem die für die Irradiation entscheidenden Intensitätsunterschiede zurücktreten, Erregungen von entgegengesetzter Qualität in der Umgebung des induzierenden Objekts ausgelöst werden[1]. Auf die Größenauffassung der

[1] Da die Irradiation unter günstigen Umständen wohl, ähnlich dem Randkontrast, auch über eine weitere Umgebung in schwächerem Grade sich ausbreiten kann, so sind es wahrscheinlich solche diffuse Irradiationswirkungen, die man zuweilen als »positive Induktion« dem eigentlichen Kontrast, als der »negativen«, gegenübergestellt hat. (Blix,

irradiierenden Objekte ist dann überdies wahrscheinlich noch der Umstand von Einfluß, daß die Intensitätsunterschiede innerhalb der verschiedenen Zonen des das Objekt umgebenden Lichthofes in der Empfindung um so mehr verschwinden, je stärker der Lichteindruck ist, so daß dadurch der Lichthof unmittelbar als eine Vergrößerung des Objektes selbst aufgefaßt wird[1]. Obgleich alle diese Eigenschaften des ruhenden Auges zweifellos wesentliche Elemente der räumlichen Gesichtsvorstellungen in sich schließen, so sind sie nun aber doch für sich allein nicht genügend, diese zu vermitteln. Das empfundene Netzhautbild ist, wenn wir damit die Summe von Lichtempfindungen bezeichnen dürfen, die aus den Erregungen der einzelnen reizbaren Netzhautelemente entsteht, durchaus verschieden von dem vorgestellten Bild. Weitere Faktoren der räumlichen Wahrnehmung, die hier dem Netzhautbilde zu Hilfe kommen, und auf die bereits die Ausgleichserscheinungen der Metamorphopsien uns hinwiesen, sind vor allem in den Bewegungen des Auges gegeben.

2. Bewegungen des Auges.

a. Anordnung und Drehungsmomente der Augenmuskeln.

Die Bewegungen des Auges sind im allgemeinen Drehungen desselben um einen in der Augenhöhle fest liegenden Punkt. Dislokationen des Augapfels, durch die Auspolsterung der Augenhöhle mit Fett, Bindegewebe und andern schwer komprimierbaren Massen erschwert, können nur ausnahmsweise stattfinden, so daß sie bei den normalen Bewegungen außer Betracht bleiben. Der Drehpunkt des Auges liegt nach den Messungen von DONDERS und VOLKMANN 13,45 mm hinter dem Hornhautscheitel, demnach etwa 1,29 mm hinter der Mitte der vom Hornhautscheitel durch den Knotenpunkt gelegten optischen Augenachse[2]. Die Drehungen um diesen Punkt werden durch sechs Muskeln bewerkstelligt, von denen je zwei, die als Antagonisten wirken, ein Muskelpaar bilden. Die drei Muskelpaare, die man auf diese Weise unterscheidet, sind: der äußere und innere gerade

---

Skandin. Archiv für Physiologie, Bd. 5, 1893, S. 13.) Auch diese Gegenüberstellung ist jedoch offenbar von einer allzu weit getriebenen Analogie mit den positiven und negativen Nachbildern beeinflußt. Abgesehen von der eigentlichen Irradiation sind jene diffuseren positiven Wirkungen Ausnahmeerscheinungen, die möglicherweise auf einer bloßen Lichtzerstreuung durch die dioptrischen Medien des Auges beruhen.

[1] PLATEAU, POGGENDORFFs Annalen, Ergänzungsbd. 1, 1838, S. 79, 193, 405. FECHNER, ebend. Bd. 50, 1840, S. 195. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 394 ff.

[2] DONDERS, Anomalien der Refraktion und Akkommodation. 1866, S. 156 f. Vgl. auch WEISS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 2, S. 132.

Muskel (Rectus externus und internus), der obere und untere gerade (Rectus superior und inferior) und der obere und untere schräge (Obliquus superior und inferior). Das erste dieser Muskelpaare, gebildet durch den äußeren und inneren geraden (*re*, *rit* Fig. 259), liegt nahezu in der durch den Drehpunkt des Auges gelegten Horizontalebene[1]. Beide Muskeln zeigen eine genaue Symmetrie der Lage und darum auch der Wirkung. Die Achse, um welche sie für sich allein das Auge drehen würden, steht im Drehpunkt auf der annähernd horizontalen Muskelebene senkrecht. Der äußere dreht um diese Achse den Augapfel nach außen,

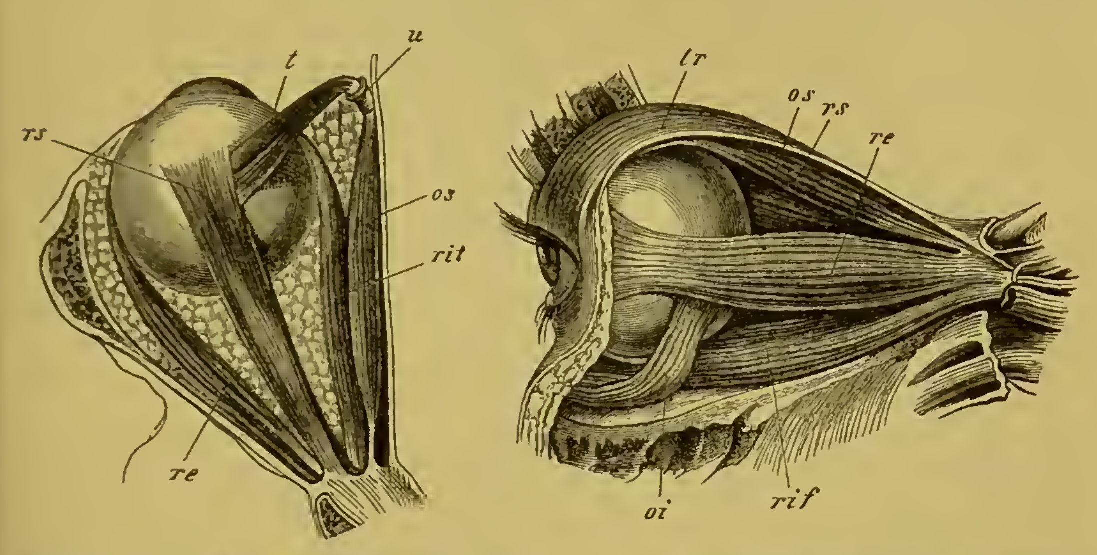


Fig. 259. Die Muskeln des linken menschlichen Auges, von oben gesehen. *rs* Rectus superior. *re* Rectus externus. *rit* Rectus internus. *os* Obliquus superior. *t* Sehne dieses Muskels. *u* Knorpelrolle an der innern Wand der Augenhöhle, um welche die Sehne des Obliquus sup. geschlungen ist.

Fig. 260. Die Muskeln des linken menschlichen Auges, von außen gesehen. *lr* Heber des oberen Augenlids (Levator palpebrae superioris), den Rectus superior bedeckend. *rs*, *re*, *os* wie in der vorigen Figur. *rif* Rectus inferior. *oi* Obliquus inferior.

der innere nach innen; dabei behält der durch die Netzhaut gelegte horizontale Meridian, den wir, da er noch öfter zur Feststellung der Orientierung des Auges Verwendung findet, kurz den Netzhauthorizont nennen wollen, seine horizontale Richtung bei. Der obere und untere gerade Muskel (*rs*, *rif* Fig. 260), die zusammen das zweite Muskelpaar bilden, liegen ebenfalls fast vollkommen in einer Ebene, also annähernd wieder symmetrisch; aber diese Ebene hat eine schräge Lage, indem

[1] Die Ursprungspunkte beider Muskeln liegen übrigens bei vollkommen horizontaler Haltung des Kopfes ein wenig höher als die Ansatzpunkte, nach VOLKMANNS Messungen um 0,6 mm. Daraus folgt, daß die Muskelebene mit ihrem vorderen Ende etwas unter die Horizontalebene geneigt ist.

der Ansatz der Muskeln am Augapfel weiter nach außen liegt als ihr Ursprung am Rande des Sehnervenlochs (*rs* Fig. 259). Ihre Drehungsachse fällt darum nicht mit der durch den Drehpunkt gelegten Horizontalen *h h'* zusammen, sondern weicht von derselben um ungefähr 30° ab (Fig. 261). Demnach behält auch der Netzhauthorizont *h h'*, während der obere Muskel das Auge nach oben, der untere nach unten dreht, seine Lage nicht bei, sondern er wird gleichzeitig gegen die Horizontalebene gedreht, so daß er sich mit seiner schläfenwärts gerichteten Hälfte im ersten Fall über den Horizont erhebt, im zweiten unter denselben sinkt. Eine solche Drehung, bei der die Gesichtslinie *g g'* als festbleibende Achse erscheint, bezeichnet man als Rollung oder Raddrehung des Auges, und der Winkel, den dabei der Netzhauthorizont mit seiner ursprünglichen horizontalen Lage bildet, als den Rollungs- oder Raddrehungswinkel. Denken wir uns also den oberen oder unteren geraden Muskel allein wirksam, so würde mit der Hebung und Senkung des Augapfels, die sie bewirken, immer zugleich eine Rollung desselben verbunden sein. Am meisten weicht endlich die Lage der beiden schrägen Muskeln ab. Die Drehungsachse *os oi* derselben bildet nämlich ungefähr einen Winkel von 52° mit der durch den Drehpunkt gelegten Horizontalen *h h'*, liegt also von dieser weiter entfernt als von der Gesichtslinie *g g'*, mit der sie nur einen Winkel von etwa 38° einschließt. Beide Muskeln unterscheiden sich ferner dadurch, daß derjenige Ursprungspunkt des oberen schiefen Muskels, der für seine Wirkung allein in Betracht kommt, nämlich die Stelle, wo derselbe über seine Rolle gleitet (*u* Fig. 259), nach vorn vom Ansatzpunkt seiner Sehne am Augapfel liegt; ebenso entspringt der untere schiefe Muskel an einer nach vorn liegenden Stelle des Bodens der Augenhöhle (*oi* Fig. 260). Bei den schrägen Muskeln ist also das Verhältnis der Ursprungs- und Ansatzpunkte genau das umgekehrte wie bei den geraden. Infolgedessen verhalten sie sich auch in bezug auf die Hebung und Senkung des Augapfels entgegengesetzt den entsprechend gelagerten geraden Muskeln: der Obliquus superior senkt das Auge, und der Obli-

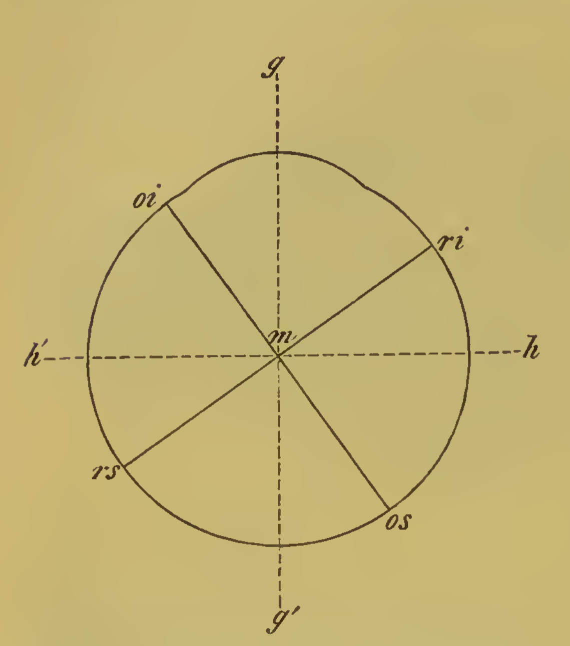


Fig. 261. Achsen der Muskeldrehung im Auge. (Linkes Auge.)

quus inferior hebt dasselbe. Dabei dreht zugleich der erstere den Netzhauthorizont im selben Sinne wie der obere, der zweite im selben Sinne wie der untere gerade. Demnach läßt sich das Verhältnis der Obliqui zu den beiden geraden kurz so feststellen: der Obliquus superior unterstützt den Rectus inferior bei der Hebung des Auges, aber er wirkt ihm entgegen in bezug auf die Rollung des Auges um die Gesichtslinie; der Obliquus inferior unterstützt den Rectus superior bei der Hebung des Auges, aber er wirkt ihm bei der Rollung entgegen. Man übersieht diese Verhältnisse am einfachsten, wenn man die Drehungsachsen der Muskelpaare auf einen durch den Drehpunkt (*m* Fig. 261) gehenden Horizontalschnitt des Augapfels projiziert. Die Drehungsachse des äußeren und inneren geraden Muskels muß man sich als eine auf der Ebene des Papiers im Drehpunkt senkrecht stehende Linie denken. Von den beiden andern Drehungsachsen kann man annehmen, daß sie vollständig innerhalb der Horizontalebene liegen, da in Wirklichkeit ihre Abweichung von derselben nur wenige Winkelgrade beträgt[1]. Nennt man diejenige Hälfte einer jeden Drehungsachse, in bezug auf welche bei der Kontraktion eines bestimmten Muskels die Drehung im Sinne des Uhrzeigers stattfindet, die Halbachse des betreffenden Muskels, so ist *m rs* (Fig. 261) die Halbachse für den Rectus superior, *m ri* für den Rectus inferior,

[1] Genauer ergeben sich die Lageverhältnisse der sechs Augenmuskeln aus der folgenden nach VOLKMANNS Messungen entworfenen Tabelle, in der die Ursprungs- und Ansatzpunkte der Muskeln durch ein System rechtwinkliger Koordinaten bestimmt sind, die sich im Drehpunkte kreuzen. (Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1869, S. 52.) Die x-Achse liegt horizontal, die z-Achse vertikal, und die y-Achse fällt mit der Gesichtslinie zusammen: die Richtung der positiven x geht nach außen, der positiven y nach hinten, der positiven z nach oben; die Zahlen bedeuten Millimeter.

	Ursprünge			Ansätze		
Muskeln	x	y	z	x	y	z
Rectus superior . .	— 16	31,76	3,6	0,0	— 7,63	10,48
Rectus inferior . .	— 16	31,76	— 2,4	0,0	— 8,02	— 10,24
Rectus externus . .	— 13	34,0	0,6	10,08	— 6,50	0,0
Rectus internus . .	— 17	30,0	0,6	— 9,65	— 8,84	0,0
Obliquus superior . .	— 15,27	— 8,24	12,25	2,90	4,41	11,05
Obliquus inferior . .	— 11,10	— 11,34	— 15,46	8,71	7,18	0,0

Wir fügen diesen Zahlen die Werte der Länge und des Querschnitts der einzelnen Augenmuskeln in mm und mm² bei, da sie für die Beurteilung der Muskelleistungen von Bedeutung sind. Weitere Angaben über Anordnung und Wirkung der Augenmuskeln vgl. bei O. ZOTH, in NAGELS Lehrbuch der Physiol. Bd. 3, S. 284 ff.

	Rectus sup.	Rectus inf.	Rectus ext.	Rectus int.	Obliquus sup.	Obliquus inf.
Länge	41,8	40,0	40,6	40,8	32.2	34,5
Querschnitt	11,34	15,85	16,73	17,39	8,36	7,89

m os für den Obliquus superior, *m oi* für den Obliquus inferior. Für den Rectus internus liegt die Halbachse über, für den externus unter der Papierebene. Die Lageänderung, die jeder einzelne Muskel durch Drehung um seine Halbachse zustande bringt, läßt sich dann durch die Fig. 262 veranschaulichen. Man denke sich das linke Auge so vor die Ebene des Papiers gehalten, daß es den Mittelpunkt der Figur fixiert, und daß die Entfernung des Drehpunktes von demselben gleich der Länge der Linie *d d* ist, so werden durch die in jenem Mittelpunkte sich kreuzenden Linien die Bahnen dargestellt, in denen jeder einzelne Muskel, wenn

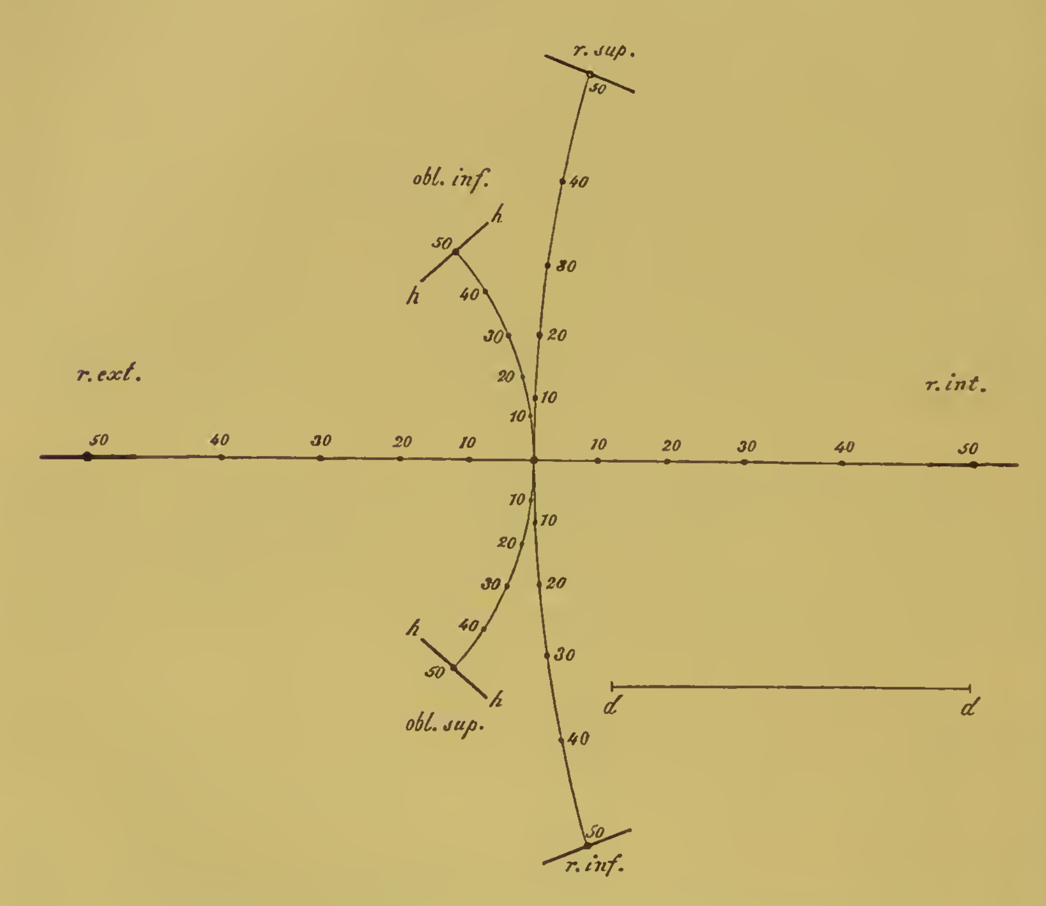


Fig. 262. Die Bahnen der Blicklinie des linken Auges und die Rollungen bei isolierter Wirkung der einzelnen Augenmuskeln, nach HERING.

er eine Drehung von 10° bis 50° bewirkt, die Gesichtslinie bewegen muß. Durch den am Ende jeder Bahn angebrachten dickeren Strich ist zugleich die infolge der Drehung eingetretene Lage des Netzhauthorizontes angedeutet. Aus dieser Darstellung geht unmittelbar hervor, daß, um von der Anfangsstellung aus das Auge gerade nach außen oder innen zu bewegen, die Wirkung eines einzigen Muskels, des Rectus externus

oder internus, genügt[1]. Anders ist dies bei den Bewegungen nach oben und unten. Kein einziger Muskel vermag, wie man sieht, den Augapfel geradlinig zu heben oder geradlinig zu senken. Dagegen kann dies durch die Kombination der zwei entsprechend wirkenden Muskeln erreicht werden. Der Rectus superior und Obliquus inferior werden, da die Bogen, in denen sie die Gesichtslinie drehen, in entgegengesetztem Sinne verlaufen, bei geeigneter Kompensation der Muskelkräfte eine geradlinige Bahn hervorbringen können; ebenso bei Senkung des Auges der Rectus inferior und Obliquus superior. Dabei werden sich zugleich die Drehungen des Netzhauthorizonts ganz oder teilweise kompensieren, so daß das Auge in ähnlicher Weise wie bei den Bewegungen nach außen und innen seine ursprüngliche Orientierung behalten kann. Bewegt sich aber die Gesichtslinie in schräger Richtung, z. B. von der Anfangsstelle aus nach innen und oben, so kann man eine solche Drehung in jedem Momente aus einer Bewegung nach innen und aus einer solchen nach oben zusammengesetzt denken. Demnach sind hier nicht zwei sondern drei Muskeln beteiligt, nämlich der Rectus internus als Einwärtswender, der Rectus superior und Obliquus inferior als Heber des Augapfels. In ähnlicher Weise ist bei den Drehungen nach außen und oben der Rectus externus mit den zwei eben genannten Muskeln, bei den in schräger Richtung abwärts gehenden Bewegungen jedesmal der Rectus inferior und Obliquus superior mit dem betreffenden äußeren oder inneren geraden Muskel wirksam.

b. Die Primärstellung und das LISTINGsche Gesetz.

Die Frage, wie bei allen diesen Bewegungen des Auges die Kräfte der einzelnen Augenmuskeln zusammenwirken, läßt sich nun auf die einfachste Weise prüfen, indem man die jedesmalige Stellung des Netzhauthorizontes ermittelt. Findet man z. B., daß bei der Drehung nach oben und unten der Netzhauthorizont keine Drehung erfährt, so wird man daraus schließen dürfen, daß die geraden und schiefen Muskeln wirklich sich kompensieren. Die unmittelbarste Methode aber, um sich über etwaige Richtungsänderungen des Netzhauthorizontes zu unterrichten, be-

[1] Da infolge der hierdurch hervorgebrachten Lageänderung des Augapfels auch die Ansatzpunkte der andern Muskeln Verschiebungen erfahren, beziehungsweise diese Muskeln sich verkürzen oder verlängern müssen, so werden allerdings bei den oben genannten Bewegungen außer dem Hauptmuskel immer auch noch andere kontrahiert sein. Über hierauf bezügliche Erscheinungen der Netzhautorientierung vgl. SCHNELLER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 3, S. 133, über die dadurch verursachten Änderungen der Drehungsmomente O. ZOTH, Sitzungsber. der Wiener Akad. (3), 1900, S. 509. Hier kann von diesen Abweichungen wegen ihres geringen Einflusses auf die Gesichtswahrnehmungen abgesehen werden.

steht darin, daß man durch längeres Fixieren einer horizontalen farbigen Linie ein komplementäres Nachbild hervorbringt, das auf eine ebene Wand entworfen wird, und dessen Richtungsänderungen bei der Bewegung des Auges dann unmittelbar über die Richtungsänderungen des Netzhauthorizontes Aufschluß geben. Bei der Ausführung dieses Versuchs findet man, daß es eine bestimmte Ausgangsstellung gibt, von der an das ursprünglich horizontale Nachbild nicht nur bei der Bewegung nach innen und außen, sondern auch bei der Bewegung nach oben und unten horizontal bleibt. Die auf diese Weise ausgezeichnete Stellung, die man die Primärstellung nennt, entspricht bei den meisten Augen einer Lage der Gesichtslinie, bei welcher diese etwas unter die Horizontalebene geneigt ist. Dies hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß auch die Ebene des äußeren und inneren geraden Augenmuskels nicht genau horizontal ist (S. 549, Anm. 1). Es scheint also der Netzhauthorizont und demnach das ganze Auge bei der Drehung nach innen und außen seine Orientierung dann beizubehalten, d. h. keine Rollung zu erfahren, wenn die Gesichtslinie annähernd in der Muskelebene des Rectus externus und internus sich bewegt. Dann geschehen aber in der Tat diese Drehungen auf die einfachste Weise, indem sie lediglich durch die Wirkung der beiden genannten Muskeln hervorgebracht werden können. Da auch bei der Bewegung nach oben und unten das Auge gleich orientiert bleibt, so müssen ferner die Wirkungen des oberen und unteren geraden sowie der schiefen Muskeln in einem solchen Verhältnis stehen, daß sich die entgegengesetzten Drehungen des Netzhauthorizontes, die durch je zwei zusammenwirkende Muskeln hervorgebracht werden, genau kompensieren. Nun bewirken, eine gleich große Bewegung vorausgesetzt, die Obliqui eine viel stärkere Rollung als die zu ihnen gehörigen Recti (Fig. 260). Es muß daher, wenn jene Kompensation stattfinden soll, bei einer gegebenen Hebung und Senkung der gerade Muskel mit größerer Kraft wirken als der ihm beigegebene schräge. Hiermit steht auch im Einklang, daß die Obliqui viel schwächere Muskeln sind als die Recti, so daß, wenn einem geraden und einem schrägen Muskel die gleiche Innervation zugeführt wird, dadurch wohl von selbst die richtige Kompensation ihrer Wirkungen eintreten kann. Diese Erwägungen machen es wahrscheinlich, daß bei den Hebungen und Senkungen des Auges dasselbe Prinzip wie bei den Seitwärtswendungen in Anwendung kommt: daß nämlich jede Bewegung die möglichst einfache Innervation voraussetzt. Man könnte sich freilich fragen, warum, wenn dieses Prinzip bei der Anordnung der Augenmuskeln befolgt ist, nicht auch die Hebung und Senkung gleich der Seitwärtswendung bloß durch zwei symmetrisch gelagerte gerade Muskeln geschehe. Die größere Komplikation, die

durch die Beigebung der Obliqui als Hilfsmuskeln herbeigeführt wird, steht aber sichtlich mit gewissen Erfordernissen des Sehens in nahem Zusammenhang. Während nämlich die Ansatzpunkte der Muskeln am Augapfel mit diesem beweglich sind, bleiben ihre Ursprungspunkte in der Augenhöhle fest, daher bei allen Drehungen des Auges die Achsen der Muskelwirkung immer nur verhältnismäßig kleine Änderungen erfahren. Demgemäß nähert sich bei der Drehung nach innen die Horizontalachse des Auges $h\,h'$ (Fig. 261) der Achse der Obliqui, während sich die Blicklinie $g\,g'$ oder die Achse der Rollung von derselben entfernt; bei der Drehung nach außen dagegen entfernt sich $h\,h'$ von der Achse der Obliqui, während sich $g\,g'$ ihr nähert. Umgekehrt ist das Verhältnis zur Achse der Recti: $h\,h'$ nähert sich *rs ri*, $g\,g'$ entfernt sich davon bei der Drehung nach außen, indes bei der Drehung nach innen das umgekehrte eintritt. Dieser Gegensatz hat zunächst wieder die Bedeutung einer Kompensationseinrichtung: sobald das Drehungsmoment der Recti zunimmt, vermindert sich das entsprechende der Obliqui und umgekehrt. Sodann ergibt sich infolge der Lage der Achsen *rs ri* und *os oi* eine Begünstigung der Einwärtsbewegungen. Da nämlich das Rollungsmoment der Recti um die Achse $g\,g'$ nie so bedeutend werden kann, daß dasselbe nicht immer noch leicht durch die Gegenwirkung der Obliqui kompensiert würde, so wird bei den Stellungen der Blicklinie nach innen immer ein verhältnismäßig größerer Teil der gesamten Drehungsmomente beider Muskelpaare auf die Drehung um die Achse $h\,h'$ verwendet und ein verhältnismäßig kleinerer zur antagonistischen Kompensation der Rollungen um die Gesichtslinie verbraucht, d. h. die Bewegungen erfolgen in der Konvergenzstellung mit relativ geringerer Muskelanstrengung. Außerdem fallen streng genommen die Halbachsen der beiden schiefen Muskeln nicht ganz in eine Gerade, sondern die Halbachse des oberen weicht etwa um 5—6° mehr von der Blicklinie ab als die des unteren, wogegen diese etwas unter die Horizontalebene geneigt ist (S. 554 u. 549, Anm. 1). Demzufolge entwickelt bei einwärts gekehrter Blicklinie der Obliquus superior ein relativ starkes Drehungsmoment um $h\,h'$, während der Obliquus inferior immer zugleich ein geringes Moment der Auswärtsdrehung um die vertikale auf der Horizontalebene im Punkte m senkrechte Achse ausübt. Daraus folgt, daß in einer geneigten Lage der Blicklinie die Einwärtsdrehungen, in einer gehobenen die Auswärtsdrehungen der Blicklinie begünstigt werden. Diese Bevorzugung der Einwärtsbewegung tritt auch darin hervor, daß die Schnelligkeit der Augenbewegung von außen nach innen größer ist als in jeder andern Richtung[1]. Wir werden unten sehen, daß diese aus

[1] Guillery, Pflügers Archiv, Bd. 23, 1898, S. 87. Brückner, ebend. Bd. 90, 1902, S. 73.

der Anordnung der Augenmuskeln sich ergebenden mechanischen Bedingungen für die Funktionen des Doppelauges von großer Bedeutung sind.

Wird nun von der Primärstellung aus das Auge nicht einfach gehoben oder gesenkt oder seitwärts gewendet, sondern in schräger Richtung bewegt, so kann man, um sich über die in der zweiten Stellung eintretende Orientierung des Auges zu unterrichten, ein Nachbild benützen, das zu der Bewegungsrichtung der Gesichtslinie in derselben Weise orientiert ist wie bei den vorigen Versuchen das horizontale oder vertikale Nachbild, nämlich entweder die gleiche Richtung hat wie der Weg, den die Gesichtslinie einschlägt, oder zu demselben senkrecht ist. Der Versuch zeigt hier dasselbe Resultat wie vorhin: auch bei der schrägen Bewegung behält das zum Merkzeichen dienende Nachbild seine Richtung bei; das Auge verändert also, wenn es sich von der Primärstellung aus dreht, seine ursprüngliche Orientierung nicht, in welcher Richtung die Drehung auch geschehen möge. Aus diesem Satze ergibt sich unmittelbar die mechanische Folgerung, daß alle Stellungen des Auges bei gegebenen Ablenkungen der Blicklinie aus ihrer Primärstellung gefunden werden können, wenn man sich die Ablenkungen der Blicklinie durch die Drehung um feste Achsen entstanden denkt, deren jede zu der Ebene, welche durch die Anfangs- und Endlage der Blicklinie bestimmt wird, im Drehpunkte senkrecht steht, und die sämtlich in einer einzigen zur Primärstellung der Gesichtslinie im Drehpunkte senkrechten Ebene liegen. Dieses Prinzip der Drehungen wird nach seinem Entdecker als das LISTINGsche Gesetz bezeichnet[1].

Um dasselbe im allgemeinen zu bestätigen, verfährt man am besten in folgender Weise. Man befestigt einen großen Karton, der durch vertikale und horizontale Linien in gleiche Quadrate eingeteilt ist, in solcher Weise an einer Wand, daß er mit hinreichender Reibung um seinen Mittelpunkt drehbar ist, so daß er jede Lage, in die man ihn dreht, beibehält. Im Mittelpunkte bringt man ein rechtwinkliges Kreuz aus farbigem Papier an. Man stellt sich nun in möglichst großer Entfernung dem Karton gegenüber so auf, daß bei aufrechter Haltung des

---

[1] LISTING selbst (RUETE, Lehrbuch der Ophthalmologie[2], 1854, S. 37) hat das Prinzip nur als eine Vermutung hingestellt. Die Primärstellung wurde von MEISSNER gefunden (Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. 1854), der allgemeine Nachweis des Prinzips aber erst von HELMHOLTZ gegeben (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 9, 2, 1863, S. 153. Physiol. Optik, S. 457 f.). In dynamischer Hinsicht hat dasselbe nur eine annähernde Gültigkeit, da namentlich bei extremen Stellungen des Auges nicht unerhebliche Abweichungen davon stattfinden, überdies aber die wirkliche Bewegung nicht um vollkommen feste Achsen erfolgt. Erzeugt man nämlich durch kurze Betrachtung eines leuchtenden Punktes in der Dunkelheit ein positives Nachbild, so legt dieses nur bei der Hebung und Senkung und bei der Seitwärtswendung annähernd gerade Linien im dunkeln Gesichtsfelde zurück, bei allen schrägen Bewegungen aber, auch wenn diese von der Primärstellung ausgehen, gekrümmte Bahnen. (WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. 1862, S. 140 ff.)

Kopfes die gerade nach vorn gerichteten und (der Primärstellung entsprechend) ein wenig nach unten geneigten Gesichtslinien den Mittelpunkt des farbigen Kreuzes fixieren. Ist dies lange genug geschehen, daß ein komplementärfarbiges Nachbild entstehen konnte, so bewegt man zuerst das Auge gerade nach innen und außen, dann, wieder vom Fixationspunkte aus, nach oben und unten. In beiden Fällen decken sich die Schenkel des Nachbildes mit den vertikalen und horizontalen Linien des Kartons. Um das Gesetz auch in bezug auf schräge Bewegungen der Gesichtslinie zu prüfen, dreht man zuerst den Karton, bis die vertikalen

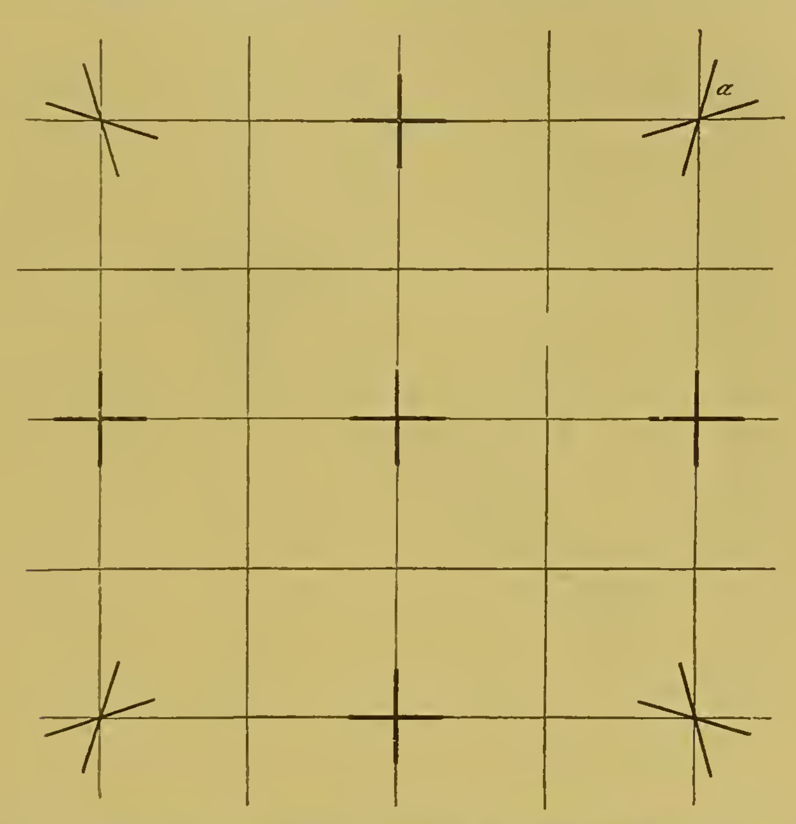


Fig. 263. Nachbildversuche zur Prüfung des LISTINGschen Gesetzes.

oder horizontalen Linien in diejenige Richtung kommen, in welcher man die Gesichtslinie bewegen will. Es ist dann auch das Kreuz in der Mitte entsprechend gedreht worden: das Nachbild desselben behält nun, wenn sich die Gesichtslinie entlang den vorgezeichneten Linien bewegt, wiederum seine Richtung bei.

Dreht man bei diesem Versuch den Karton nicht, läßt man also das Nachbildobjekt aufrecht, und wandert jetzt die Gesichtslinie in schräger Richtung, so nehmen dagegen die beiden Schenkel des Nachbildes in den Schrägstellungen eine schiefe Lage an. Bei der Bewegung nach rechts

oben z. B. nimmt es die Stellung *a* an; in den übrigen Bewegungsrichtungen zeigt es die andern in Fig. 263 dargestellten Abweichungen. Diese Verschiebungen rühren aber nicht von einer Rollung des Auges um die Achse $g g'$ (Fig. 261) her, sondern von der perspektivischen Projektion des Netzhautbildes auf die ebene Wand, wie schon der Umstand zeigt, daß der vertikale und der horizontale Schenkel des Kreuzes im entgegengesetzten Sinne gedreht erscheinen. Wenn nämlich das Auge aus einer ersten in eine zweite Stellung übergeht, so kann ein Netzhautbild von unveränderlicher Form nur dann wieder in derselben Weise nach

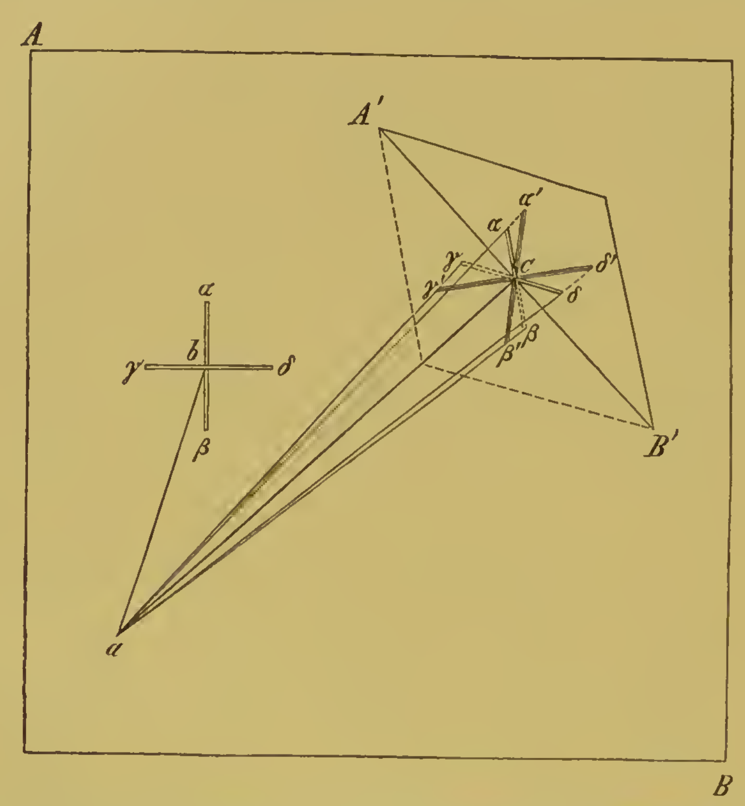


Fig. 264. Projektive Drehungen eines Nachbildes bei der Bewegung des Auges.

außen verlegt werden, wenn die Ebene, auf die es projiziert wird, ihre Lage zum Auge beibehält. Wenn also die Gesichtslinie aus der geraden Stellung $a b$ (Fig. 264), in welcher die Ebene der Wand $A B$ senkrecht zu derselben ist, in eine schräge Stellung $a c$ übergeht, so müßte das Nachbild wieder auf eine zur Gesichtslinie senkrechte Ebene $A' B'$ projiziert werden, wenn der vertikale Schenkel $\alpha \beta$ des Kreuzes wieder vertikal, der horizontale $\gamma \delta$ horizontal erscheinen sollte. Nun verlegen wir aber das Netzhautbild nicht auf die Ebene $A' B'$, sondern auf die unverändert gebliebene $A B$. Um die Form zu finden, die auf diese bezogen das nach

außen verlegte Netzhautbild annimmt, müssen wir zu jedem einzelnen Punkt desselben eine Visierlinie ziehen: der Punkt, wo diese Linie die Wand $A\,b$ trifft, entspricht dem Punkt des auf die Ebene $A\,B$ bezogenen Bildes. Auf diese Weise sind in Fig. 264 von a aus, wo der Mittelpunkt der Pupille des beobachtenden Auges gedacht ist, die vier den Grenzpunkten des Kreuzes entsprechenden Visierlinien $a\,\alpha'$, $a\,\beta'$ $a\,\gamma'$ und $a\,\delta'$ gezogen worden. Die Figur, welche dieselben begrenzen, ist das schiefwinklige Kreuz $\alpha'\ \beta'\ \gamma'\ \delta'$, welches ganz dem Kreuz a in Fig. 263 entspricht. Durch ähnliche Konstruktionen findet man die andern in Fig. 263 angegebenen Drehungen des Nachbildes. Nebenbei folgt übrigens aus diesen Beobachtungen, daß das Netzhautbild durchaus nicht immer räumliche Vorstellungen erzeugt, die mit seiner eigenen Form übereinstimmen. Auf unserer Netzhaut existiert in den beschriebenen Versuchen das Nachbild als ein rechtwinkliges Kreuz; trotzdem sehen wir es keineswegs immer rechtwinklig, sondern seine Form ist ganz und gar von der Vorstellung abhängig, die wir uns von der Lage der Ebene, auf der das Bild entworfen wird, gebildet haben [1]. Auf diese Seite der Erscheinung werden wir unten zurückkommen.

Das LISTINGsche Gesetz hat, insofern es nicht sowohl für den Verlauf der Bewegungen, als für die S t e l l u n g e n des Auges bei gegebenen Richtungen der Blicklinie gilt, den Charakter eines s t a t i s c h e n Prinzips. Als solches hat es aber aller Wahrscheinlichkeit nach seinen Grund darin, daß die durch dieses Gesetz bestimmte Lage des Auges jedesmal diejenige ist, bei welcher die der Dislokation aus der Ruhestellung entgegenstehenden Hindernisse, wie sie aus den mannigfachen Gewebsverbindungen des Augapfels in der Augenhöhle entspringen, mit einem M i n i m u m d a u e r n d e r M u s k e l a n s t r e n g u n g überwunden werden. Sollte das Auge in dem ersten Moment nach dem Übergang aus einer ersten in eine zweite Stellung der Blicklinie diese günstige Lage nicht haben, so muß dieselbe doch sofort bei neu eintretender Fixation durch das Wechselverhältnis der am Auge wirksamen spannenden und hemmenden Kräfte von selbst sich einstellen. Eben deshalb ist das LISTINGsche Gesetz ein statisches, kein dynamisches Prinzip (siehe oben S. 556, Anm. 1); und man wird nach Maßgabe der allgemein im Organismus bestehenden Korrela-

[1] Daß es hierbei nicht auf die w i r k l i c h e Lage einer solchen Ebene ankommt, sondern auf diejenige, die wir derselben in unserer V o r s t e l l u n g anweisen, folgt eigentlich schon daraus, daß wir überhaupt von ihrer wirklichen Lage nur durch unsere Vorstellung etwas wissen. Man kann sich hiervon aber auch experimentell überzeugen, wenn man auf der Projektionsebene eine perspektivische Zeichnung anbringt, durch die eine f a l s c h e Vorstellung ihrer Lage erweckt wird. Man projiziert dann gemäß dieser falschen Vorstellung. Einen hierher gehörigen Versuch siehe bei VOLKMANN, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. Bd. 1, 1863, S. 156. Die Beziehung zwischen den Winkeln der Projektion und der wirklichen Raddrehung hat L. HERMANN näher berechnet PFLÜGERS Archiv Bd. 78, 1899, S. 88 ff.).

tionen zwischen bewegten Massen und bewegenden Kräften annehmen dürfen, daß die Anordnung und Ausbildung des Augenmuskelsystems selbst schon ein Produkt der mechanischen Selbstregulierung dieses Systems sei[1]. Unter der Voraussetzung der Gültigkeit dieser Selbstregulierung und der aus ihr sich ergebenden Anordnung der Muskelachsen für die Gleichgewichtsstellungen des Auges in einer Ebene bleibt aber eine weitere Bedingung, die diese Anordnung mit sich führt, noch unbestimmt: das ist die Ruhestellung, in der die Energien der Muskeln nicht bloß ein relatives, sondern ein absolutes Minimum repräsentieren, und in die daher das Auge im allgemeinen zurückkehren wird, sobald keine speziellen Bewegungsreize auf dasselbe einwirken. Die Bedeutung einer solchen Ruhestellung hat nach dem LISTINGschen Gesetz die Primärstellung. Da nun die rein mechanischen Bedingungen zwar fordern, daß es irgend eine Ruhestellung eines solchen Bewegungssystems gebe, ohne aber für irgend eine zu entscheiden, so wird von vornherein zu vermuten sein, daß in diesem seinem die Primärstellung bestimmenden Teile das LISTINGsche Gesetz neben jener mechanischen zugleich insofern eine teleologische Bedeutung besitze, als diejenige Stellung des Auges vor andern zur Ruhestellung sich eignete und daher den Vorzug gewann, welche den bei den Sehfunktionen am häufigsten gebrauchten Richtungen der Blicklinie entspricht, worauf dann aus dieser Stellung die Lageänderungen in der Weise erfolgten, daß in allen so gewonnenen sekundären Stellungen das Maß der Innervationsenergie zu einem Minimum wurde. Das so sich ergebende teleologische Korrelatgesetz des LISTINGschen Satzes kann man als das Prinzip der einfachsten Innervation bezeichnen. Daß jener Vorzug des häufigsten Gebrauches für eine mäßig nach abwärts gekehrte Richtung der Blicklinie besteht, ist im Hinblick auf das ungeheure Übergewicht, das bei den Sehfunktionen nahe gelegene Objekte beanspruchen, ohne weiteres ersichtlich. Übrigens erklärt es sich zugleich aus dem Einfluß, den hierbei Beschäftigung und Lebensgewohnheiten ausüben, daß gerade diese Lage der Primärstellung der am wenigsten konstante Bestandteil des LISTINGschen Gesetzes ist.

c. Prinzip der konstanten Orientierung und der Korrespondenz von Fixation und Apperzeption.

Mit dem Gesetz der Orientierung des Auges nach festen, in einer Ebene gelegenen Achsen hängt das weitere Prinzip eng zusammen, daß die Orientierung für jede Stellung der Blicklinie eine konstante

[1] WUNDT, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 8, 2, 1862, S. 1 ff.

ist, die wiederkehrt, auf welchen Wegen diese auch in ihre Stellung gelangt sein mag. Von der Richtigkeit dieses Prinzips der konstanten Orientierung[1] kann man sich mittels derselben Methode überzeugen, die zur Prüfung des LISTINGschen Gesetzes dient (S. 556). Das Nachbild des Kreuzes, das man in der Primär- oder in irgendeiner andern Ausgangsstellung erzeugt hat, zeigt bei einer bestimmten Stellungsänderung der Blicklinie immer dasselbe Lageverhältnis zu den Orientierungslinien der Wand, auf welche Weise auch das Auge aus der ersten in die zweite Stellung gelangt sein mag. Kleine Abweichungen haben in der Synergie mit den Bewegungen des andern Auges, auf die wir unten (4) zurückkommen werden, ihren Grund. Da auf diese Weise das LISTINGsche Gesetz nur ein Spezialfall dieses allgemeineren Gesetzes der konstanten Orientierung ist, so erhellt übrigens hieraus zugleich, daß, sobald nach dem Übergang des Auges aus einer ersten in eine zweite Stellung eine Rollung um die Gesichtslinie beobachtet wird, diese nicht auf der neuen Augenstellung als solcher, sondern lediglich auf ihrem Verhältnis zu der Ausgangsstellung beruht, auf die sie bezogen wird. Denn darin besteht eben die besondere Bedeutung der Primärstellung, daß auf sie bezogen für alle Stellungen der Blicklinie die im Vergleich mit andern Ausgangsstellungen vorhandenen Rollungen verschwinden.

Auch das Prinzip der konstanten Orientierung hat übrigens offenbar eine mechanische und eine teleologische Seite. Mechanisch kann nach dem Prinzip der einfachsten Innervation mit jeder Stellung der Blicklinie nur eine Orientierung verbunden sein, nämlich diejenige, bei der die Innervationsgröße ein Minimum ist. Teleologisch aber ist für den Sehenden die regelmäßige Orientierung im Raum durchaus an die Bedingung geknüpft, daß das Bild auf der Netzhaut bei einer gegebenen Stellung des Auges immer gleich orientiert bleibe, daß also z. B. eine gerade Linie, die im einen Fall im Netzhautbild senkrecht steht, in einem andern bei der gleichen Augenstellung keine schräge Lage einnehme. Hier wird das Prinzip der konstanten Orientierung offenbar in noch höherem Grade als das LISTINGsche Gesetz durch die Zwecke des Sehens gefordert. Unter den beiden Bedingungen, die in diesem Prinzip zusammentreffen, den mechanischen und den teleologischen, sind aber in der individuellen Ausbildung jedenfalls die mechanischen die ursprünglichen. Wie das Auge des Neugeborenen, schon bevor das Sehorgan seine Funktion beginnt, zur Erzeugung optischer Bilder zweckmäßig konstruiert ist, so besitzt es auch einen vollkommen ausgebildeten Bewegungsmechanismus. In der

[1] Dasselbe wurde bereits vor Kenntnis des LISTINGschen Gesetzes von DONDERS gefunden. (Holländische Beiträge zu den anatomischen und physiologischen Wissenschaften, Bd. 1, 1847, S. 104, 384.)

individuellen Lebensgeschichte hat sich daher das Sehen unter dem Einfluß der mechanischen Bewegungsgesetze des Auges entwickelt. In der generellen Entwickelung dagegen werden ebenso unzweifelhaft die Bedürfnisse des Sehens die Organisation, wie des Auges überhaupt, so auch seiner Bewegungswerkzeuge bestimmt haben.

Die Gesetze der einfachsten Innervation, der konstanten Orientierung und der bevorzugten Primärstellung sind nun, wie in dem ersten derselben direkt, in den beiden andern indirekt ausgesprochen liegt, beherrscht von zentralen Bedingungen. Diese sind es, die der Blick- oder Gesichtslinie als derjenigen Linie, die den fixierten Punkt mit der Stelle des deutlichsten Sehens verbindet, bei allen Bewegungen des Auges die herrschende Rolle anweisen. Jede Augenbewegung ist zunächst eine Bewegung der Blicklinie. Als solche wird sie bei den willkürlichen Bewegungen gewollt; die übrige Orientierung des Auges folgt dann der Stellung der Blicklinie mit mechanischer Notwendigkeit. Ähnlich den willkürlichen verhalten sich aber in dieser Beziehung die unwillkürlichen Bewegungen des Auges, bei denen die Blicklinie reflexartig einem Eindruck folgt, der aus irgendeinem Grunde eine dominierende Bedeutung im Sehfeld gewonnen hat. Von den meisten andern Reflexen unterscheiden sich diese wesentlich durch die Eigentümlichkeit, daß bei ihnen jeder andere Punkt der Netzhaut mit dem Fixierpunkt in eine eindeutige Beziehung gesetzt ist, durch die, sofern nicht entgegengesetzte Kräfte hemmend im Wege stehen, ein Eindruck auf irgendeinen jener Punkte die Einstellung der Blicklinie auf den Eindruck herbeiführt. Indem nun im allgemeinen fortwährend viele räumlich gesonderte Reize auf die Blicklinie richtunggebend einwirken, wird diese selbst fortwährend vieldeutig angeregt, und es sind daher für die endlich erfolgende wirkliche Einstellung weniger die Verhältnisse der peripheren Reizung als zentrale Bedingungen, durch die irgendein Reiz über die andern das Übergewicht erlangt, entscheidend. Wir fassen diese zentralen Bedingungen in dem psychologischen Begriff der Apperzeption zusammen, und wir können demnach das hier zur Geltung kommende Gesetz der Augenbewegungen dahin feststellen, daß nicht die Intensität und Qualität eines Reizes an sich, sondern seine Fähigkeit die Apperzeption zu erregen für die Einstellung der Blicklinie bestimmend ist[1]. Wir wollen dieses psychophysische Prinzip, welches die oben erörterten drei physiologischen Bewegungsgesetze ergänzt und ihre Anwendung im einzelnen reguliert, als das Gesetz der Korrespondenz von Apperzeption und Fixation bezeichnen. Nach ihm stellen sich die Gesichtslinien des normalen Seh-

---

[1] Über den Begriff der Apperzeption vgl. Bd. 1, S. 387 ff., und weiterhin Abschn. V.

organs vermöge eines sicher wirkenden zentralen Mechanismus, auf dasjenige Objekt ein, dem wir unsere Aufmerksamkeit zuwenden. Nur mittels besonderer Einübung ist es daher möglich jene Korrespondenz für Augenblicke zu lösen und die Aufmerksamkeit auf Dinge zu richten, die man nicht fixiert. Die Schwierigkeit einer solchen Einübung liegt aber wahrscheinlich nicht bloß darin, daß bisher fest eingeübte Verbindungen gelöst werden, sondern auch darin, daß sich nun eine willkürliche Innervation ausschließlich auf die Stellung der Blicklinie richten muß, während normaler Weise mit der Richtung der Aufmerksamkeit auf ein Objekt vermöge der mechanischen Sicherheit der eingeübten zentralen Verbindungen die Blicklinie die zugehörige Stellung von selbst annimmt.

Auf diese Weise ergänzen sich zugleich das LISTINGsche Gesetz und das Prinzip der konstanten Orientierung. Beide bezeichnen verschiedene Seiten einer und derselben Erscheinung. Weist das erstere auf den zweckvollen Charakter der Augenbewegungen hin, so betont das letztere den mechanischen Zwang, dem sie unterworfen sind. Eben wegen dieses ergänzenden Verhältnisses kann aber ebensowenig der Zweck als die Ursache des Mechanismus, wie umgekehrt dieser als die dem Zweck vorausgehende Bedingung gedacht werden, sondern beide können nur in stetiger Wechselwirkuug zwischen den physiologischen Substraten der Funktion und den durch die Funktion selbst auf sie stattfindenden Wirkungen entstanden sein. Wollte man das teleologische Prinzip als das primäre annehmen, so würde das bedeuten, die zweckmäßigsten Augenbewegungen seien ursprünglich aus beliebig vielen andern irgendwie willkürlich ausgewählt und etwa später erst durch Gewohnheit fixiert worden. Wollte man das mechanische Prinzip als das ursprünglich gegebene voraussetzen, so könnte der zweckmäßige Mechanismus der Augenbewegungen und ihrer Innervation nur auf Grund einer providentiellen Voraussicht künftiger Zwecke gedacht werden. Indem hier keines das Frühere ist, sondern mechanische Selbstregulierung und zweckmäßige Form der Funktion nur die beiden Seiten eines und desselben in steter Wechselwirkung seiner Faktoren entstandenen Produktes sind, bildet übrigens dieser Zusammenhang der Gesetze der Augenbewegungen mit ihrer Funktion zugleich eines der einleuchtendsten Beispiele jener immanenten Teleologie aller organischen Funktionen, die die gewöhnlich sogenannten teleologischen Erklärungen hinfällig macht, weil sie deutlich zeigt, daß das Zweckmäßige eben deshalb zweckmäßig ist, weil es zugleich mechanisch notwendig ist.

Zur Untersuchung und Veranschaulichung der oben erörterten Wirkungen der Augenmuskeln bedient man sich am besten eines Augenmuskelmodells,

wie ein solches zuerst RUETE[1] unter dem Namen Ophthalmotrop konstruiert hat. Ein vervollkommnetes Instrument dieser Art ist das von mir beschriebene künstliche Augenmuskelsystem[2]. Dasselbe besteht aus einer Hohlkugel von 48 mm Durchmesser (also etwa doppelt so groß als dem des Auges), die hinten eine Öffnung von 35° besitzt, und um ihren Mittelpunkt drehbar ist. Die Zugrichtungen der Muskeln sind durch Schnüre repräsentiert, die nach dem oben (S. 551, Anm. 1) angegebenen VOLKMANNschen Koordinatensystem angeordnet und am Auge befestigt sind, während sie an den dem Muskelursprung (beim Obliquus sup. der Sehnenrolle) entsprechenden Punkten über Rollen laufen und auf der andern Seite durch Gewichte gespannt werden. Die elastischen Kräfte der Muskeln sind durch Spiralfedern dargestellt, deren Länge bei jedem Muskel proportional dem Quotienten des Querschnitts durch die Länge gewählt ist. Der Apparat kann zur Untersuchung der Stellungen wie der Bewegungen des Auges verwendet werden. Eine für Demonstrationszwecke geeignete, vom Mechaniker E. Zimmermann gebaute Vereinfachung desselben ist in Fig. 265 abgebildet. Die das linke Auge in 10 facher Vergrößerung darstellende Augenkugel ist eine metallene Hohlkugel, die in der Art einer CARDANIschen Aufhängung um ihren Mittelpunkt drehbar ist. Die Zugrichtungen der Muskeln sind durch Schnüre von verschiedener Farbe möglichst den natürlichen Verhältnissen entsprechend wiedergegeben, und die Bewegungen und Drehungen des Auges können unmittelbar an einem die Blicklinie repräsentierenden Stäbchen und an den an der Augenkugel gezogenen beiden Hauptmeridianen beobachtet werden. Die in Fig. 262 abgebildeten Wirkungen der Augenmuskeln mit den entsprechenden Raddrehungen sowie die kombinierten Wirkungen der zusammengehörigen Muskelpaare lassen sich an diesem Apparat unmittelbar zur Darstellung bringen[3].

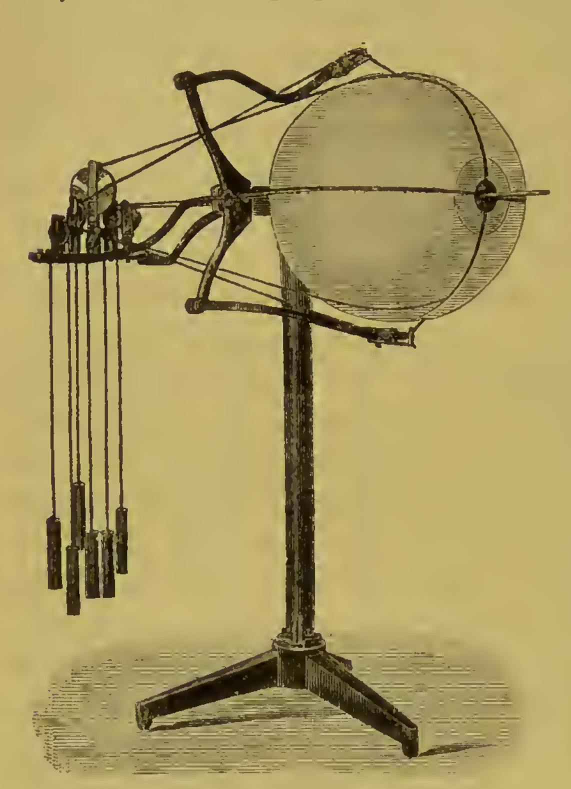


Fig. 265. Ophthalmotrop.

Wenn das Auge nicht von der Primärstellung, sondern von irgendeiner andern, einer sogenannten Sekundärstellung aus sich bewegt, so behält es im allgemeinen seine konstante Orientierung nicht bei: ein horizontales oder vertikales Nachbild zeigt nun eine wirkliche Neigung gegen seine ursprüng-

[1] RUETE, Ein neues Ophthalmotrop. 1857.

[2] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 8, 2, 1862, S. 88.

[3] Eine ältere, einfachere, freilich aber auch unvollkommenere Form eines Ophthalmotrops findet sich in der 4. Aufl. dieses Werkes Fig. 153 (Bd. 2, S. 123) beschrieben und abgebildet.

liche Richtung, die davon herrührt, daß, während die Gesichtslinie aus einer ersten in eine zweite Lage übergegangen ist, zugleich das ganze Auge eine Rollung um die Gesichtslinie erfahren hat. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man in dem vorhin beschriebenen Versuch bei der Erzeugung des Nachbildes den Kopf vor- oder rückwärts beugt, so daß sich die Blicklinie nicht in der Primärstellung befindet, die Wand aber, wie früher, zu ihr annähernd senkrecht ist. Verfolgt man nun mit dem Blick die auf dem Karton gezogenen Linien, so zeigt das Nachbild Drehungen gegen dieselben, die aber für den vertikalen und horizontalen Schenkel des Kreuzes von gleicher Größe und Richtung, nicht, wie bei den von der Projektion herrührenden Verschiebungen, ungleich sind[1]. Die auf diese Weise entstehenden Rollungen sind übrigens sehr klein, so lange das Auge nicht in extreme Stellungen übergeht, die normaler Weise, wo alle umfangreichen Drehungen durch den Kopf mitbesorgt werden, kaum vorkommen; ihrer Größe nach stimmen sie annähernd zu der Voraussetzung, daß auch die Orientierungen von Sekundärstellungen aus um Achsen erfolgen, die in der vorhin bezeichneten Achsenebene liegen[2]. Es ist übrigens an und für sich klar, daß, wenn alle Drehungsachsen in dieser Ebene liegen, bei den Bewegungen von Sekundärstellungen aus Rollungen um die Blicklinie eintreten müssen, weil eben in diesem Fall die Drehungsachse nicht senkrecht stehen kann auf der Ebene, in der sich die Blicklinie bewegt, einen einzigen Fall ausgenommen: wenn nämlich die Ebene der Drehung den durch die Primärstellung gelegten Mediankreisen angehört oder, mit andern Worten, wenn die Blicklinie eine solche Bewegung ausführt, die man sich ohne Wechsel der Drehungsachse von der Primärstellung ausgehend oder in sie fortgesetzt denken kann. Die vermöge solcher Rollungen zu erwartenden Störungen des Sehens werden jedoch dadurch vermindert, daß der Kopf durch seine Bewegungen dem Auge umfangreichere Drehungen erspart. Diese Beteiligung des Kopfes an der Blickbewegung ist nach den verschiedenen Richtungen verschieden: sie ist am kleinsten bei den vorzugsweise vom Auge eingeübten Bewegungen nach unten[3]. Eine ähnliche kompensatorische Bedeutung haben wahrscheinlich die nicht unerheblichen Abweichungen von dem Listingschen Gesetze, die bei umfangreicheren Augenbewegungen beobachtet werden. Bemerkenswert unter ihnen sind besonders diejenigen bei starken Konvergenzbewegungen. Sie bestehen darin, daß mit Zunahme des Konvergenzwinkels der vertikale Meridian mehr nach außen beziehungsweise weniger nach innen gedreht wird, als nach dem Listingschen Gesetz zu erwarten wäre. Mit der Senkung der Blickebene nimmt diese Abweichung zu. Dies steht, wie wir unten sehen werden, in unmittelbarer Beziehung zu den beim Nahesehen stattfindenden Bedingungen der Wahrnehmung[4].

---

[1] In manchen Darstellungen der Augenbewegungen, z. B. in der sonst vorzüglichen von Helmholtz, werden die Projektionsdrehungen und diese wirklichen Rollungen nicht hinreichend klar geschieden. Das angegebene Kriterium bildet aber hier stets ein sicheres Unterscheidungsmittel, oder, wie man das nämliche auch ausdrücken kann: wirkliche Rollungen sind immer solche, die bei der Projektion des als Merkzeichen dienenden Nachbildstreifens auf eine zur Blicklinie senkrechte Ebene bestehen bleiben.

[2] Helmholtz, Physiologische Optik[1], S. 467. [2] S. 623 ff. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 9, 2, 1863, S. 206. Woinow, ebend. Bd. 17, 2, 1871, S. 233. Mulder, ebend. Bd. 21, 1, 1875, S. 68. Donders, ebend. S. 125 ff.

[3] Ritzmann, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 1, 1875, S. 131.

[4] Donders, Pflügers Archiv, Bd. 13, 1876, S. 392.

Ein gewisses Maß für den Umfang, in welchem das Auge bei seinen Bewegungen dem durch Konvergenz und korrespondierende Fixation ausgeübten mechanischen Zwange folgt, gewinnt man schließlich an den Höhen- oder Breitenabweichungen, die sich zwischen den Bildern eines und desselben Punktes in beiden Augen, z. B. durch ein vor das eine Auge vorgehaltenes Prisma, herstellen und durch den eintretenden Zwang zur übereinstimmenden Fixation überwinden lassen. Diese von den Ophthalmologen als »Fusionsbewegungen« bezeichneten Ausgleichsbewegungen, die übrigens bei längerer Dauer das Auge stark ermüden, erstrecken sich gewöhnlich nur über 5—6, ausnahmsweise aber namentlich bei der Überwindung von Divergenzstellungen bis zu 10 Winkelgraden[1]. Sie bilden Parallelerscheinungen zu den unter 5 bei den Funktionen des binokularen Sehens zu besprechenden Ausgleichungen der Fixationsunterschiede bei Schielenden infolge retinaler Anpassungen.

3. Einfluß der Augenbewegungen auf die Ausmessung des Sehfeldes.

a. Einfluß der Bewegungsgesetze auf die Ordnung der Punkte im Sehfeld.

Dem ruhenden Auge erscheint das Sehfeld, sobald speziellere Bedingungen fehlen, die irgendeine andere Ordnung bewirken, als innere Oberfläche einer Kugelschale. An einer solchen scheinen uns die Gestirne verteilt zu sein, und der Himmel selbst erscheint unserm Auge noch heute als das, wofür kindlichere Zeiten ihn wirklich hielten, als ein kugelförmiges Gewölbe. In der unter dem Horizont gelegenen Hälfte des Sehfeldes hört diese Kugelform auf, weil hier durch die Bodenebene und die auf ihr befindlichen Gegenstände andere und im ganzen wechselndere Bedingungen gegeben sind. Der naheliegende Grund jener Anschauung ist aber die Bewegung des Auges. Bei dieser beschreibt der Fixationspunkt fortwährend größte Kreise, die einer Hohlkugelfläche angehören. Als Mittelpunkt des kugelförmigen Sehfeldes, das wir beim Mangel sonstiger Motive erblicken, ist daher der Drehpunkt des Auges zu betrachten. Da jedoch auch das ruhende Auge sein Sehfeld kugelförmig sieht, so liegt eigentlich hierin schon ein Grund zu vermuten, die Raumvorstellungen überhaupt seien unter dem Einfluß der Bewegung entstanden. Es läßt sich dem freilich entgegenhalten, möglicherweise besitze die Netzhaut unabhängig davon eine ihr innewohnende Energie, ihre Bilder auf ein kugelförmiges Sehfeld zu beziehen, — vielleicht, weil sie selbst kugelförmig gekrümmt ist. Hier tritt nun aber eine Reihe von

---

[1] Helmholtz, Physiol. Optik², S. 633. Hofmann und Bielschowsky, Pflügers Archiv, Bd. 80, 1900, S. 1 ff., außerdem B. Hofmann in Asher und Spiro, Ergebnisse der Physiol. II, 1903, S. 799 ff.

Beobachtungen entscheidend ein, welche zeigen, daß wir nicht nur im allgemeinen die Netzhautbilder auf eine Fläche im äußeren Raum beziehen, die der Bewegung des Auges entspricht, sondern daß auch die Ordnung der einzelnen Punkte auf dieser Fläche durch die Bewegungsgesetze des Auges bestimmt wird.

Nennen wir die Fläche, auf welcher der Fixations- oder Blickpunkt bei seinen Bewegungen hin- und hergeht, das Blickfeld, so können wir die oben besprochenen Tatsachen in den Satz zusammenfassen: das Sehfeld des bewegten sowohl wie des ruhenden Auges hat im allgemeinen die nämliche Form wie das Blickfeld. Um jetzt weiterhin den Einfluß der Bewegung auf die Ordnung der Punkte im Sehfelde zu ermitteln, denken wir uns am zweckmäßigsten die Veränderungen, die am Auge vor sich gehen, in das Blickfeld hinübergetragen. Es wird dann jede Bewegung der Blicklinie einer vom Blickpunkt beschriebenen Kurve entsprechen. Nennen wir denjenigen Blickpunkt, welcher der Primärstellung der Gesichtslinie angehört, den Hauptblickpunkt, so erfolgen von der Primärstellung aus alle Drehungen so, daß der Blickpunkt größte Kreise beschreibt, die sich im Hauptblickpunkt durchschneiden. Stellen wir uns das Blickfeld als eine ganze Kugel vor, so schneiden sich diese Kreise, die man die Meridiankreise des Blickfeldes nennen kann, noch in einem zweiten dem Hauptblickpunkt gerade gegenüberliegenden Punkt der Kugeloberfläche, dem Okzipitalpunkt. Der Hauptblickpunkt und der Okzipitalpunkt sind somit entgegengesetzte Endpunkte eines Durchmessers. Die Fig. 266 zeigt das so konstruierte gesamte Blickfeld in perspektivischer Ansicht. A ist das Auge, H der Hauptblickpunkt, O der Okzipitalpunkt, die Linie HO liegt, gemäß der Primärstellung, etwas unter der Horizontalebene; durch H und O sind die Meridiankreise gezogen[1]. Denken wir uns die letzteren vom Drehpunkt als dem Mittelpunkt des kugelförmigen Blickfeldes aus auf eine Ebene projiziert, die auf der Primärstellung der Gesichtslinie senkrecht steht, so bilden sie sich hier als gerade Linien ab, die sich im Fixationspunkt durchschneiden; die horizontale derselben entspricht dem Netzhauthorizont. Wir wollen diese Projektion das ebene Blickfeld und die geraden Linien, die in ihm als Projektionen der Meridiankreise vom Hauptblickpunkte auslaufen, die Richtlinien nennen.

[1] Um die Lage irgendeines Punktes im Blickfeld oder Sehfeld genau zu bestimmen, kann man dasselbe außer in Meridiankreise noch in Breitekreise einteilen, die parallel einem die Achse HO halbierenden Äquatorialkreise verlaufen. Es erfolgt dann die Lagebestimmung ganz nach Analogie der geographischen Ortsbestimmung. Aber für die Bewegung des Auges haben nur die Meridiankreise eine Bedeutung, als die Wege, die nach dem LISTINGschen Gesetz der Blickpunkt von der Primärstellung aus einschlägt.

Wenn sich nun das Auge von der Primärstellung aus dreht, so muß sich die Gesichtslinie in Meridiankreisen oder auf dem ebenen Blickfeld in Richtlinien bewegen. Hierbei bleibt nach dem LISTINGschen Gesetz das gegenseitige Lageverhältnis der Meridiankreise im kugelförmigen Blickfeld ungeändert. Wenn der Blickpunkt von *H* zuerst auf *a* und dann auf *b* (Fig. 266) übergeht, so fällt beim zweiten Akt dieser Bewegung der Bogen *ab* genau auf dieselbe Stelle der Netzhaut wie vorher der Bogen *Ha*. Denken wir uns jetzt das in Fig. 264 dargestellte, der Primärlage entsprechende Blickfeld fixiert und dann das Sehfeld des ruhenden Auges in derselben Weise in Meridiankreise geteilt, so daß in der Primärstellung Blickfeld und Sehfeld zusammenfallen, so können wir uns vorstellen, bei den Bewegungen verschiebe sich das Sehfeld gegen das Blickfeld wie eine Kugelschale gegen eine ihr konzentrische. Es verschiebt sich dann bei allen Drehungen von der Primärstellung aus derjenige Meridiankreis des Sehfeldes, in welchem die Blicklinie liegt, genau in demjenigen Meridiankreis des Blickfeldes, mit dem er in der Primärstellung zusammenfiel: beide Meridiankreise decken einander während der ganzen Bewegung. Wäre das LISTINGsche Gesetz nicht erfüllt, erführe das Auge bei jeder Drehung zugleich eine Rollung um die Blicklinie, so würde eine solche fortwährende Deckung der einander entsprechenden Meridiankreise nicht stattfinden, sondern es würde sich der Meridiankreis des Sehfeldes gegen den ihm entsprechenden des Blickfeldes drehen, und er würde fort und fort mit andern Meridiankreisen des letzteren zusammenfallen. Bei denjenigen Bewegungen, die nicht von der Primärlage ausgehen, wird dies wegen der hierbei stattfindenden Rollungen auch in der Tat der Fall sein. Die Bewegungen von der Primärlage aus sind also bevorzugt, weil bei ihnen die Auffassung der Richtungen im kugelförmigen Blickfeld durch die gleichförmige Orientierung des Auges begünstigt ist. Denn eine sichere Bestimmung der Richtungen ist nur möglich, wenn die Wahrnehmungen, die bei der Bewegung des Blicks stattfinden, mit der Auffassung des ruhenden Auges übereinstimmen. Eine Linie, bei deren Verfolgung sich der Blick in einem Meridiankreise bewegt, muß dem



Fig. 266. Das Auge und sein Blickfeld.

ruhenden Auge im selben Meridiankreise erscheinen, wenn sich kein Widerspruch zwischen beiden Wahrnehmungen herausstellen soll. Dies trifft aber zu, wenn zwischen dem ruhenden Blickfeld und dem bewegten Sehfeld jene Übereinstimmung besteht, die sich aus dem LISTINGschen Gesetze ergibt. Bei den Bewegungen, die nicht von der Primärlage ausgehen, wird dann allerdings die Auffassung der Richtungen eine mangelhaftere sein. In der Tat lehrt jedoch die Erfahrung, daß wir, wo es sich um eine genaue Abmessung der Richtung von Linien handelt, dem Auge unwillkürlich eine etwas zum Horizont geneigte, der Primärlage entsprechende Stellung geben.

Diese Übereinstimmung der von dem Blick verfolgten Richtungen im Blick- und Sehfeld besteht ferner nur dann, wenn das Netzhautbild auf eine kugelförmige Blick- und Sehfeldlinie bezogen wird; sie hört auf, sobald irgendeine andere Form, z. B. eine Ebene, an deren Stelle tritt. Denken wir uns daher die in der Primärstellung zur Blicklinie senkrechte Ebene als unveränderliches Blickfeld, und nehmen wir als wechselndes Sehfeld eine andere Ebene an, die wieder in der Primärstellung mit dem Blickfeld zusammenfällt, aber mit der Blicklinie wandert, so werden sich die Richtlinien dieser beiden Ebenen, die sich in der Ausgangsstellung decken, jetzt nur noch bei der Bewegung in zwei Richtungen innerhalb der gleichen Meridiankreise verschieben: dann nämlich, wenn die Drehung von der Primärlage aus gerade nach oben und unten oder gerade nach außen und innen geht. Sobald dagegen das Auge eine andere Stellung einnimmt, so müssen die Richtlinien des Blickfeldes und Sehfeldes gegeneinander geneigt erscheinen; denn denkt man sich nun durch den Drehpunkt und die betreffende Richtlinie des Sehfeldes eine Ebene gelegt, so trifft die letztere das Blickfeld nicht mehr in derjenigen Richtlinie, die in der Ausgangsstellung mit ihr zusammenfiel. Vielmehr geben nun die in Fig. 263 (S. 557) dargestellten Projektionen, wie in den dort beschriebenen Nachbildversuchen, so auch hier die Drehungen der Richtlinien an. Die in der Primärstellung zur Blicklinie senkrechte Wand AB entspricht hier dem ebenen Blickfeld. Denken wir uns dann die in der Ausgangsstellung mit AB zusammenfallende Wand $A'B'$ so mit der Blicklinie bewegt, daß sie stets zu dieser senkrecht bleibt, so ist die wandernde Ebene $A'B'$ das ebene Sehfeld. Ein Nachbild, das in der Primärstellung mit einer der Richtlinien zusammenfällt, deckt in irgendeiner Sekundärstellung wieder die nämliche Richtlinie des ebenen Sehfeldes; auf das unveränderliche Blickfeld projiziert schließt es aber mit der Richtlinie, mit der es ursprünglich zusammenfiel, einen bestimmten Winkel ein. Die Fig. 262 (S. 552), welche die Neigung dieses Winkels bei den vier schrägen Stellungen für ein ursprünglich

vertikales und horizontales Nachbild angibt, stellt also zugleich das Lageverhältnis dar, das die Richtlinien des Sehfeldes zu denen des Blickfeldes besitzen, wenn das letztere eine zur Primärstellung senkrechte Ebene ist und das Sehfeld auf dieses Blickfeld projiziert wird.

Kann nun das Auge, wie jene Nachbildversuche lehren, ein auf seiner Netzhaut oder in seinem Sehfelde rechtwinkliges Kreuz in seinem Blickfelde schiefwinklig sehen, so wird aber auch umgekehrt ein im Sehfelde schiefwinkliges Kreuz auf das Blickfeld bezogen rechtwinklig erscheinen können. Die Richtigkeit dieses Satzes läßt sich leicht auf folgende Weise bestätigen. Man nehme einen großen Bogen weißen Papiers, in dessen Mitte man einen schwarzen Punkt anbringt, der als Fixierpunkt dient. Dieser Bogen, in der Primärstellung senkrecht zur Blicklinie gehalten, repräsentiert das Blickfeld, d. h. diejenige Fläche, die der Blickpunkt sukzessiv durchwandern kann. Nun bringe man seitlich vom Fixierpunkt zwei schwarze Papierstreifen, die genau in einer Vertikallinie liegen, auf demselben Bogen an. Man wird dann bemerken, daß dieselben nur dann in einer Vertikallinie zu liegen scheinen, wenn ihre Richtung entweder mit der durch den Blickpunkt gelegten Vertikalen sich deckt oder zu der durch den Blickpunkt gelegten Horizontalen im Raume senkrecht ist. In den übrigen Teilen des Blickfeldes dagegen muß man den Objekten eine schräge Lage geben, wenn sie im indirekten Sehen vertikal erscheinen sollen, und zwar muß in allen diesen Lagen das in vertikaler Richtung vom Blickpunkt entferntere Objekt auch nach der horizontalen weiter von demselben weggeschoben werden. Die Lage, die den beiden Papierstreifen in den verschiedenen Meridianen des

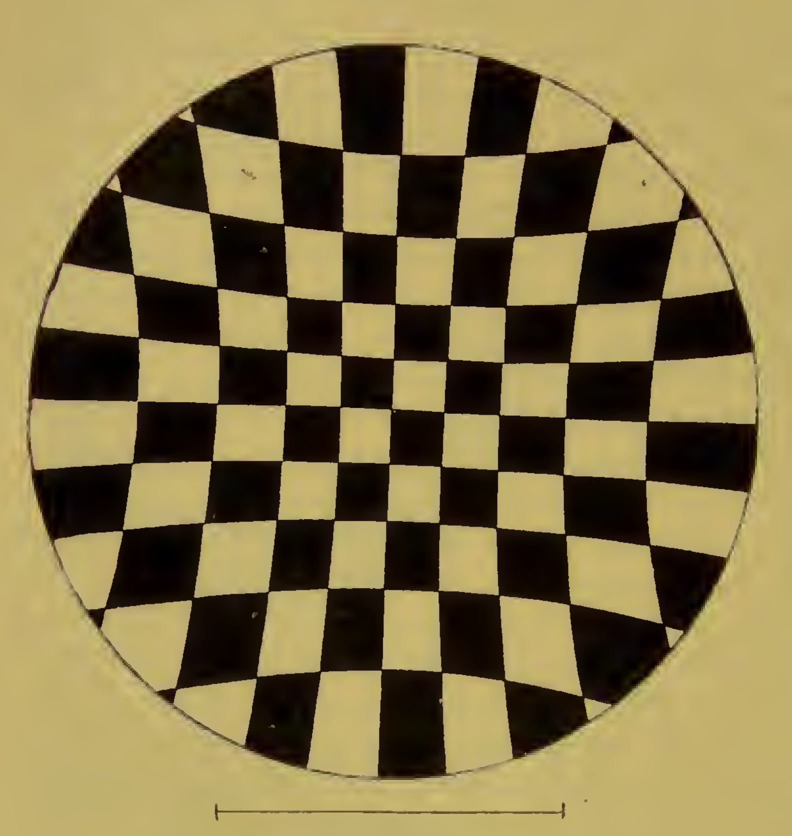


Fig. 267. Helmholtzsche Figur.

Blickfeldes gegeben werden muß, wenn sie in einer vertikalen Linie liegend erscheinen sollen, entspricht also ganz derjenigen Richtung, die nach Fig. 262 (S. 552) ein vertikales Nachbild annimmt, wenn der Blick auf der ursprünglichen, zur Primärstellung senkrechten Blickebene hin- und herwandert. Bestimmt man in ähnlicher Weise die Lage der im indirekten Sehen horizontal erscheinenden Punkte, so findet man, daß diese in den schräg geneigten Meridianen wieder, diesmal aber nach der entgegengesetzten Richtung abweichen, ganz wie es nach Fig. 260 der Neigung entspricht, die ein in der Primärstellung horizontales Nachbild beim Wandern des Blicks annimmt. Gibt man dem Papierbogen eine andere, der Primärstellung nicht entsprechende Lage, so werden auch die Richtungen, die man den indirekt gesehenen Punkten geben muß, um sie vertikal oder horizontal erscheinen zu lassen, andere als vorhin; immer aber fallen sie mit jenen Richtungen zusammen, die bei wanderndem Blick ein vertikales und horizontales Nachbild in seiner Projektion auf die Ebene des Papiers hat. Die geschilderten Neigungen der scheinbar vertikalen und horizontalen Linien im Sehfeld lassen sich daher gleichzeitig für alle Meridiane des letzteren an der von HELMHOLTZ nach den Versuchen VON RECKLINGHAUSENs konstruierten Fig. 267 beobachten. Bringt man dieselbe in etwa fünffach vergrößertem Maßstabe in eine zur Primärstellung senkrechte Ebene, während man ihren Mittelpunkt in einer Distanz des Auges, die der darunter gezeichneten Geraden proportional ist, monokular fixiert, so verschwindet die hyperbolische Krümmung der Linien: die Figur wird als ein Schachbrettmuster gesehen, das aus gleich großen schwarzen und weißen Quadraten besteht[1].

b. Die Schärfe des Augenmaßes.

Distanzen im Sehfelde können wir nur dann mit einiger Genauigkeit vergleichen, wenn sie gleiche Richtungen haben. Wenn wir z. B. einer gegebenen Geraden eine zweite gleich machen wollen, so müssen wir ihr die nämliche Richtung geben. Auch dann werden freilich noch Fehler begangen, und diese sind sogar sehr beträchtlich, wenn man etwa versucht, bei starrer Fixation oder bei momentaner Beleuchtung durch den elektrischen Funken solche Größenschätzungen auszuführen. Dagegen ist das Augenmaß für lineare Raumgrößen innerhalb gewisser Grenzen ein

---

[1] VON RECKLINGHAUSEN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 5, 2, 1859, S. 127. Den Zusammenhang dieser Erscheinung mit den Bewegungsgesetzen hat erst HELMHOLTZ nachgewiesen (Physiologische Optik[1], S. 548. [2] S. 694). Ich habe oben eine etwas andere Form des Versuchs gewählt, indem ich die Beobachtung über die Abweichung der Richtungen im indirekten Sehen mit Nachbildversuchen kombinierte, wodurch der Zusammenhang mit den Bewegungsgesetzen deutlicher wird.

sehr sicheres und genaues, wenn man gerade Linien von gleicher Richtung mit bewegtem Auge vergleicht. Wo wir von einer Schätzung nach dem Augenmaß reden, da setzen wir daher diese Bedingungen, unter denen die der gleichen Richtung offenbar zugleich mit der Forderung der Bewegung in gleichen Richtkreisen eng zusammenhängt, im allgemeinen als eine selbstverständliche voraus. Auch bei den Versuchen, die Schärfe des Augenmaßes zu bestimmen, hat man deshalb mit Recht die gleichen Bedingungen festgehalten. Zu ihnen kommt dann noch als eine weitere, aus den assoziativen Wahrnehmungskomponenten entspringende, die, daß sich die zu vergleichenden linearen Raumstrecken nicht in ungleicher Entfernung vom Auge befinden dürfen. Ist das letztere der Fall, so ergeben sich gewisse Fehler, die teils von der verschiedenen Größe der beiden Netzhautbilder, teils aber auch von der wechselnden Entfernungsvorstellung herrühren. Hierbei wird allerdings der durch das erste dieser Momente verursachte Fehler durch das zweite meist mit großer Annäherung ausgeglichen: man sieht also zwei gleich große Distanzen annähernd gleich, auch wenn die eine weiter entfernt ist als die andere. Dennoch ist der Fehler, den man bei der Schätzung begeht, erheblich größer, als wenn beide Distanzen gleich weit entfernt sind; auch wechselt er bei verschiedenen Individuen, indem die einen die nähere, die andern die entferntere Distanz größer zu schätzen geneigt sind[1]. Endlich schätzt man den Abstand zweier durch einen leeren Zwischenraum getrennter Punkte ungenauer als die Größe einer geraden Linie. Will man daher Distanzen gleicher Richtung unter gleichförmigen Bedingungen vergleichen, so müssen sie entweder beide in der Form von geraden Linien oder beide als Punktdistanzen gegeben sein, wobei aber zugleich der erstere Fall für die Genauigkeit des Augenmaßes der günstigere ist.

Unter Voraussetzung dieser Bedingungen läßt sich nun die Schärfe des Augenmaßes nach jeder der früher (in Bd. 1, S. 588 ff.) erörterten psychischen Maßmethoden prüfen; nur die Methode der mittleren Abstufungen ist in diesem Fall, weil sie kein direktes Maß der Unterschiedsempfindlichkeit ergibt, nicht angebracht. Unter den übrigen empfehlen sich namentlich die der Minimaländerungen und der mittleren Fehler, wobei die letztere in der Regel so angewandt wird, daß der Beobachter selbst einer gegebenen Normalstrecke eine variable Vergleichsstrecke gleich macht. Die meisten Versuche sind nach der letzteren Methode ausgeführt worden. Sie ergeben sämtlich, unter der Voraussetzung geradliniger Abstände von gleicher Richtung, innerhalb ziemlich weiter Grenzen eine

---

[1] FECHNER, Elemente der Psychophysik, Bd. 2, S. 312.

Übereinstimmung mit dem WEBERschen Gesetz. So fand VOLKMANN bei der Schätzung horizontaler Liniendistanzen zwischen 10 und 240 mm in einer Sehweite von 768 mm folgende relative Werte des mittleren variablen Fehlers:

10	20	40	80	120	160	200	240
1,160	1,005	0,730	0,924	1,010	0,962	0,945	0,900 [1]

Spätere Versuche VOLKMANNS [2] stimmen damit im ganzen überein, zeigen aber zugleich, daß bei sehr kleinen Distanzen (unter und wenig über 1 mm) das WEBERsche Gesetz nicht mehr zutrifft, sondern daß hier eher eine annähernde Konstanz der absoluten Unterschiedsschwelle besteht. Ebenso fanden sich bei größeren Distanzen (über 300 bis 800 mm Sehweite) erhebliche Abweichungen. Zu dem nämlichen Ergebnis führten, mit einer im ganzen noch größeren Konstanz des relativen variabeln Fehlers, R. FISCHERS Versuche, der sowohl horizontale wie vertikale Liniendistanzen prüfte. Zugleich erwies sich hierbei der variable Fehler bei der Halbierung einer geraden Strecke geringer als bei der Vergleichung zweier unabhängig voneinander gegebener Linien. Im ersteren Fall betrug er 0,64 bis 0,67, im zweiten 1,31 bis 1,43 % der Normaldistanz, wenn sich diese zwischen 6 und 45 mm bei 200 mm Fixationsdistanz des (kurzsichtigen) Auges bewegte [3]. Eine sehr genaue Übereinstimmung mit dem WEBERschen Gesetze fand endlich noch JUL. MERKEL, dessen Versuche sich aber auf Horizontalstrecken zwischen 1 und 50 mm beschränkten [4]. Direkte Bestimmungen der Unterschiedsschwelle mittels minimaler Änderungen sind bis jetzt nur nach dem älteren tastenden Verfahren der eben merklichen Unterschiede von FECHNER [5], VOLKMANN [6] und CHODIN [7] ausgeführt. FECHNER fand bei mittleren Distanzen eine relative Unterschiedsschwelle von $\frac{1}{40}$; bei VOLKMANN, dessen hierher ge-

[1] FECHNER, Elemente der Psychophysik, Bd. 1, S. 211 ff. Revision S. 338.

[2] Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. 1863, S. 117 ff. Allerdings ist bei diesen ebenso wie in den späteren, ähnlichen Versuchen von CHODIN (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 23, 1, 1877, S. 92), MÜNSTERBERG (Beitr. zur exper. Psychol. Heft 2, S. 125 ff., und HIGIER (Philos. Stud. Bd. 7, 1892, S. 232 ff.) das Prinzip der Fehlermethode nicht rein angewandt worden. Vgl. die Diskussion von CHODINS Versuchen bei FECHNER, Revision der Hauptpunkte der Psychophysik, S. 340. Die Versuche MÜNSTERBERGS sind zwar in ihrer Gesamtzahl sehr groß, aber bei der Menge von Distanzen, über die sie sich erstrecken, sind die auf eine einzelne Distanzgröße kommenden viel zu klein an Zahl. Die Versuche HIGIERS nach der Methode der *r*- und *f*-Fälle sind dadurch getrübt, daß er die Gleichheitsfälle wegließ. Infolgedessen lassen die etwas abweichenden Resultate dieser Beobachter keine weiteren Schlüsse zu.

[3] R. FISCHER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 37, 1, 1891, S. 97 ff.

[4] MERKEL, Philos. Stud. Bd. 9, 1894, S. 53, 176 ff.

[5] Elemente, Bd. 1, S. 233 f.

[6] Physiologische Untersuchungen, S. 129 ff. FECHNER, Revision, S. 350 ff.

[7] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 23, 1, 1877, S. 99 ff.

hörige Beobachtungen sich aber nur auf sehr kleine Strecken (von 0,3 bis 4,8 mm) beziehen, schwankte dieselbe im ganzen zwischen $\frac{1}{45}$ und $\frac{1}{60}$, konnte aber in einzelnen Fällen $\frac{1}{100}$ erreichen. CHODIN erhielt bei der Variation vertikaler Distanzen von 2,5 bis zu 160 mm folgende Werte:

2,5	5	10	20	40	80	160 mm
$^1/_{17}$—$^1/_{26}$	$^1/_{29}$—$^1/_{32}$	$^1/_{37}$—$^1/_{45}$	$^1/_{53}$—$^1/_{57}$	$^1/_{44}$—$^1/_{36}$	$^1/_{39}$—$^1/_{32}$	$^1/_{43}$—$^1/_{30}$

Für horizontale Strecken war, wie auch bei VOLKMANN, die Unterschiedsempfindlichkeit größer.

Aus allen diesen Beobachtungen geht hervor, daß die relative Unterschiedsschwelle des Augenmaßes bei gewissen mittleren Distanzen, in deren Schätzung wir vorzugsweise geübt sind, einen annähernd konstanten Wert hat, daß sie aber nicht nur untere und obere Abweichungen zeigt, wie sie die Gültigkeit des WEBERschen Gesetzes regelmäßig begleiten, sondern daß sie auch mehr, als es sonst zu geschehen pflegt, mit den Versuchsbedingungen wechselt. Wahrscheinlich kommt bei den letzteren eine Reihe bisher kaum beachteter Momente in Betracht, wie die Begrenzung des Sehfeldes, die Beschaffenheit, besonders die Deutlichkeit der Fixationslinien usw. Außerdem scheint in den verschiedenen Versuchen nicht zureichend darauf Rücksicht genommen zu sein, ob und wie das *bewegte* Auge die Strecken durchläuft. Für den wesentlichen Einfluß der Bewegung des Auges spricht übrigens schon der Umstand, daß wir irgend genauere Distanzunterscheidungen überhaupt nur bei bewegtem Auge ausführen können, und daß daher auch die exaktere Auffassung und Vergleichung einfacher geometrischer Formen durchaus an die Bewegung gebunden ist[1]. Berücksichtigt man dies, so ist es von vornherein nicht unwahrscheinlich, daß es sich bei allen diesen Versuchen direkt nicht sowohl um Vergleichungen der Größe von Netzhautbildern, als vielmehr um die Vergleichung von Augenbewegungen handelt. In der Tat wird diese Vermutung dadurch bestätigt, daß, wie wir unten sehen werden, für die Unterscheidung von Augenbewegungen nicht nur ebenfalls innerhalb der entsprechenden Grenzen das WEBERsche Gesetz gilt, sondern daß auch *die Unterschiedsschwelle für Augenbewegungen mit der Unterschiedsschwelle für lineare Distanzen ihrem numerischen Werte nach zusammenfällt* (vgl. unten 5, b).

[1] R. SEYFERT, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 550. Bd. 18, 1902, S. 189 ff.

e. Normale Täuschungen des Augenmaßes. (Geometrisch-optische Täuschungen.)

In vielen Fällen beobachtet man, daß die Schätzungen nach dem Augenmaß mit der Über- oder Unterschätzung einer räumlichen Größe im Verhältnis zu einer andern mit ihr verglichenen verbunden sind. Solche Abweichungen bezeichnen wir als normale Täuschungen des Augenmaßes oder auch, weil dieselben vorzugsweise leicht an einfachen geometrischen Figuren bemerkt werden, als geometrisch-optische Täuschungen. Rein phänomenologisch, ohne Rücksicht auf ihre mutmaßliche Entstehung, die natürlich erst aus einer sorgfältigen Analyse der hierher gehörigen Erscheinungen zu erschließen ist, lassen sich diese sämtlichen Täuschungen in vier Gruppen ordnen: 1) umkehrbare perspektivische Täuschungen, 2) nicht umkehrbare, mit der Änderung der äußeren Bedingungen variable Strecken- und Winkeltäuschungen mit perspektivischen Nebenvorstellungen, 3) konstante, durch äußere Bedingungen nicht variierbare Strecken- und Richtungstäuschungen, ohne perspektivische Nebenvorstellungen, endlich 4) variable Täuschungen, die unter dem Einfluß gleichzeitiger oder vorangegangener Eindrücke von verwandter Beschaffenheit zustande kommen. Wir wollen sie, da bei ihnen unmittelbar eine von solchen andern Eindrücken ausgehende, ausgleichende oder in gewissen Grenzfällen kontrasterregende Wirkung vorliegt, allgemein als »Assoziationstäuschungen« bezeichnen, ohne daß dadurch übrigens solche Assoziationswirkungen bei den andern Klassen dieser Täuschungen ausgeschlossen sein sollen, wie denn überhaupt in den verschiedenen Fällen die verschiedenen, die räumliche Auffassung bestimmenden Einflüsse in der Regel ineinandergreifen. Gerade wegen dieses Zusammenwirkens der Bedingungen bilden aber die geometrisch-optischen Täuschungen besonders günstige Objekte für das Studium der Faktoren der Raumanschauung[1].

1. Die umkehrbaren perspektivischen Täuschungen entstehen bei der Betrachtung geometrischer Konturenzeichnungen, die als Begrenzungslinien räumlicher Figuren von verschiedener Beschaffenheit aufgefaßt werden können. In der unmittelbaren Wahrnehmung wird dann das Objekt stets im Sinne eines bestimmten unter diesen, in gegensätzlichen Formen einander gegenüberstehenden Bildern gesehen. Der Wahrnehmungsakt kann dabei übrigens niemals als eine »Deutung« in dem

[1] Vgl. zu dem Folgenden meine Abhandlung: Die geometrisch-optischen Täuschungen, Abh. der sächs. Ges. der Wiss. math.-phys. Kl. Bd. 24, 1898. Dazu Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 1 ff. Außerdem mit Rücksicht auf die Bedeutung dieser Erscheinungen für die Analyse der Assoziationsprozesse unten Abschn. V, 2.

üblichen Sinne dieses Wortes oder als ein »Urteil« auf Grund irgendwelcher logischer Überlegungen betrachtet werden. Vielmehr erscheint das Objekt ebenso als unmittelbare plastische Wirklichkeit wie etwa ein stereoskopisches Objekt oder eine mit bestimmten perspektivischen Motiven versehene Zeichnung. Von beiden unterscheidet sich die Erscheinung nur durch ihre Umkehrbarkeit, und diese kann dann zugleich infolge des Überganges der einen in die andere Form eine lebhafte Unruhe des Bildes bewirken, wie sie bei eindeutigen körperlichen Objekten nicht vorkommt. Um die Erscheinungen möglichst lebhaft zu sehen, ist, wie bei der Wahrnehmung perspektivischer Effekte ebener Zeichnungen überhaupt, monokulare Betrachtung vorteilhaft. Als die entscheidende und in allen Fällen unweigerlich wirksame unmittelbare Bedingung für die Beschaffenheit der körperlichen Vorstellung erweist sich aber die Richtung der Augenstellung und Blickbewegung. Alle umkehrbaren perspektivischen Täuschungen folgen nämlich der Regel: die Teile des Bildes, von denen die Blickbewegung ausgeht, erscheinen dem Beschauer näher als jene, nach denen hin sie erfolgt; und bei ruhendem Auge erscheinen die Punkte des Objektes, die der Blick fixiert, näher als andere, mehr indirekt gesehene, sofern die letzteren nicht etwa nach der Beschaffenheit der Zeichnung in gleicher Entfernung mit dem Fixierpunkte liegen.

Für ein in der sicheren Fixation geübtes Auge ist diese Abhängigkeit des Reliefs pseudoskopischer Zeichnungen an geeigneten Vorlagen leicht erkennbar. Auch in der Fixation ungeübten Personen können aber die Erscheinungen leicht mittels der Methode der wechselnden Projektion der Figuren und ihrer Teile im Dunkeln vorgeführt werden. In dieser Form eignen sie sich daher auch sehr gut zu Vorlesungsversuchen. Man stellt zu diesem Zweck die Zeichnung durch Einritzen der Konturen in den Quecksilberbeleg einer Spiegelplatte her und bringt diese Platte horizontal verschiebbar in einen Rahmen, dessen Schieber beliebig die Figur zu verdecken oder zu enthüllen oder endlich bestimmte einzelne Punkte derselben sichtbar zu machen gestattet. Diese Schiebervorrichtung mit der Zeichnung bringt man als Objekt in ein Skioptikon und projiziert nun zuerst den zur primären Fixation ausgewählten Punkt auf einen weißen Schirm und dann plötzlich die ganze Figur. Ebenso verfährt man in einem zweiten Versuch, der von einem andern primär zu fixierenden Punkt ausgeht usw. Das folgende einfache Beispiel mag den Verlauf der so sich bietenden Erscheinungen erläutern. Objekt ist hier ein aufrecht stehendes vierseitiges Prisma (Fig. 268). Macht man zuerst den Punkt a allein sichtbar und enthüllt dann plötzlich die ganze Zeichnung, so erscheint diese als ein mit seinem oberen Teil etwas nach vorn geneigtes

Prisma, dessen Kante *a b* dem Beschauer zugekehrt ist. Enthüllt man jetzt in einem zweiten Versuch zuerst den Punkt *c* und dem folgend wieder die ganze Figur, so erscheint diese dagegen als ein mit seinem oberen Ende in die Tiefe geneigtes Prisma, die Kante *c d* dem Beschauer zu-, *a b* von ihm weggekehrt. Derselbe Wechsel tritt ein, wenn man die beiden unteren Punkte *b* und *d* sukzessiv zu primären Fixierpunkten macht. Unweigerlich wird die Figur jedesmal in dem Sinne aufgefaßt, daß der Blickpunkt, von welchem die Anschauung ausgeht, der zuerst fixierte Punkt ist. Auch läßt sich nunmehr leicht beobachten, daß ein diesem ersten Eindruck folgender Wechsel des Reliefs regelmäßig an eine vorangegangene Änderung der Blickrichtung gebunden ist, daß also z. B. das Relief in Fig. 268 sich umkehrt, wenn der Blickpunkt von *a* nach *b*

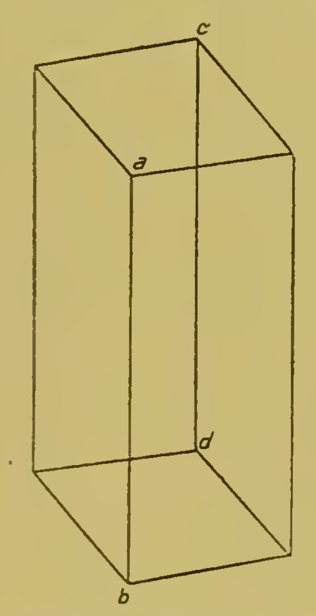


Fig. 268. Pseudoskopisches Prisma.

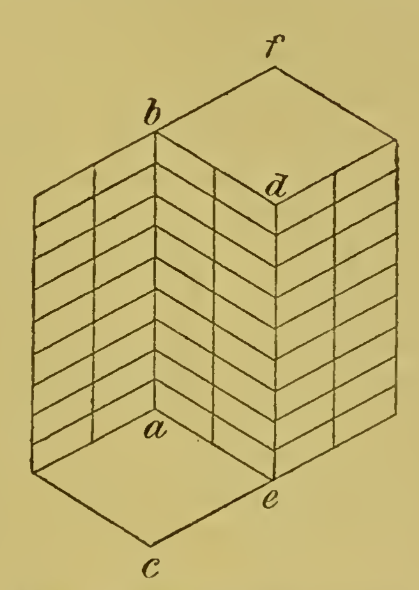


Fig. 269. Pseudoskopisches Doppelprisma.

übergeht, so daß das bei starrer Fixation vollkommen ruhig bleibende Bild besonders bei mehrfachem Wechsel der Blickrichtung in ein unruhiges Schwanken zwischen beiden Vorstellungen gerät.

Hat man einmal mit Hilfe dieser Projektionsversuche Übung in der Fixation erlangt, so lassen sich nun aber die gleichen Erscheinungen leicht auch ohne jenes Hilfsmittel an den sogleich in ihrer ganzen Ausdehnung dargebotenen Zeichnungen bestätigen. Solche Beobachtungen sind besonders geeignet, zugleich den Einfluß der einer Fixationslinie entlang gehenden Blickbewegung zu verfolgen. Letzterer Einfluß wird am deutlichsten, wenn man mehrere Motive kombiniert. Man betrachte z. B. in Fig. 269 zuerst den Punkt *a* der unten links gelegenen quadratischen

Fläche. Die Zeichnung erscheint dann als die Kombination eines links liegenden erhabenen und eines rechts liegenden hohlen Prismas, denen die mittlere vertikale Fläche gemeinsam ist. Dasselbe plastische Bild bleibt erhalten, wenn man irgendeinen Punkt der mittleren Kante *ab* des links liegenden Prismas fixiert, oder wenn man an dieser Kante mit dem Blick aufwärts, oder an irgendeiner der von dieser Kante nach rechts und links abgehenden schrägen Linien mit dem Blick abwärts geht. Entsprechend der Fixation des Punktes *a* wirkt auch die des Punktes *f*; und endlich bleibt das gleiche Relief bestehen, wenn man auf den beiden Vertikallinien rechts und links von *ab* den Blick nach aufwärts bewegt. Das ganze Relief kehrt sich aber in sein Gegenteil um, das heißt das Prisma links wird zum Hohl- und das rechts zum Konvexprisma, wenn man entweder, bevor man irgendeinen andern Teil der Figur betrachtet, den Punkt *c* oder auch einen Punkt der Kante *de* fixiert, oder endlich, wenn man auf *de* oder auf einer der rechts und links davon gelegenen Vertikallinien den Blick nach abwärts bewegt. Mit dem Übergang der Figur aus der einen in die andere Form ist zugleich eine scheinbare Drehung um ihre horizontale Achse verbunden. Erscheint nämlich das Prisma links erhaben, so ist der untere Teil der Figur, erscheint dasselbe Prisma vertieft, so ist der obere Teil dem Beschauer zugekehrt. Ein sichereres Mittel, um die Abhängigkeit dieser perspektivischen Täuschungen und ihrer Umkehrungen von der Bewegung des Auges auch dem ungeübten Beobachter oder einem größeren Zuschauerkreis sichtbar zu machen, bietet jedoch wiederum die Skioptikonprojektion. Macht man in Fig. 269 zuerst irgendeinen Punkt der Kante *ab* sichtbar, und läßt dann von ihm aus eine nach aufwärts gerichtete vertikale Linie entstehen, so tritt im Moment des Sichtbarwerdens der ganzen Figur sofort das erste Relief hervor (*ab* erhaben). Zieht man vom selben Punkt aus die leuchtende Linie nach abwärts, so entsteht ebenso regelmäßig das zweite Relief (*ab* vertieft), usw. Hierbei überzeugt man sich zugleich, daß der Wille auf diese Erscheinungen ganz ohne Einfluß ist, und daß die sogenannte Einbildungskraft, der so gern gewisse Vorgänge aufgebürdet werden, deren Bedingungen noch nicht näher erforscht sind, mit denselben gar nichts zu tun hat. Man mag noch so sehr wollen oder sich einbilden, dieses oder jenes zu sehen, — unser wirkliches Sehen kümmert sich nicht darum: es folgt unwandelbar den Fixations- und Bewegungsmotiven des Auges. Diese Motive selbst ordnen sich aber sichtlich einem Grundmotiv unter: bei der gewöhnlichen Verfolgung der Begrenzungslinien körperlicher Gegenstände stellen wir fast ausnahmslos die Blicklinie zuerst auf einen näheren Punkt ein, um dann von ihm aus mit ihr auf fernere Punkte überzugehen. Die Assoziation mit den so gewonnenen Vorstellungen wirklicher körperlicher Ob-

jekte bestimmt dann den Inhalt einer neu gebildeten Vorstellung, insoweit derselbe nicht durch den unmittelbaren Wahrnehmungsinhalt schon eindeutig gegeben ist. Wo dieser selbst zwei- oder mehrdeutig ist, da entscheiden daher jene Fixations- und Bewegungsbedingungen ohne weiteres für die Richtung der entstehenden Vorstellung. Die umkehrbaren perspektivischen Täuschungen führen demnach auf einen doppelten Einfluß zurück, unter dem jede hierher gehörende Vorstellungsbildung steht: auf die Stellungen und Bewegungen der Blicklinie und auf die durch diese Stellungen und Bewegungen erweckten reproduktiven Assimilationen. Der enge Zusammenhang beider Momente ergibt sich daraus, daß für die bei dem ersten Anblick einer Zeichnung entstehende pseudoskopische Vorstellung stets diejenige Blickstellung und Blickbewegung maßgebend ist, die in der weit überwiegenden Zahl der Fälle bei der Betrachtung der entsprechenden wirklichen Körperformen stattzufinden pflegt. Nun fixieren wir, wenn plötzlich ein Körper in unserem Gesichtsraum auftritt, gemäß dem allgemeinen Prinzip, daß unsere Auffassung der Außendinge von den uns nächsten Objekten auf die ferneren übergeht, zuerst die uns zugekehrten Teile eines Körpers. Eine ebene Zeichnung können wir aber überhaupt nur körperlich auffassen, insofern ihr frühere Wahrnehmungen als reproduktiv wirkende Dispositionen entgegenkommen. Demnach haben Blickstellung und Blickbewegung hier die Bedeutung auslösender Kräfte, durch die regelmäßig solche reproduktive Elemente attrahiert werden, die nach jenem Prinzip der häufigsten Assoziation ihnen zugeordnet sind. Dem entspricht, daß die körperliche Anschauung ganz auszubleiben pflegt, wenn wir keinen irgendwie zur Erweckung einer plastischen Vorstellung geeigneten Punkt fixieren, wenn wir also z. B. eine der Figuren 268 oder 269 bei völlig unbewegtem Auge im indirekten Sehen beobachten.

Durch naheliegende Modifikationen der pseudoskopischen Zeichnungen läßt sich leicht dieser Einfluß der geläufigsten disponibeln Vorstellungselemente auf die Assimilation weiter belegen. So z. B. durch die in Fig. 270 gezeichneten beiden Würfelnetze *A* und *B*, die zugleich die Blickattraktion ohne Zuhilfenahme der Projektionsmethode erläutern. Indem in ihnen die stark gezeichneten Winkel und Kanten im allgemeinen zuerst den Blick auf sich ziehen, erscheint in *A* die Kante *ab* dem Beschauer zugekehrt, während in *B* die Kante *ef* meist als die nähere erscheint und *ab* in die Tiefe tritt. Man bemerkt aber dabei immerhin, daß die Form *A* mit der Kante *ab* nach vorn zugleich die verhältnismäßig festere ist, und daß bei *B* leichter eine Umkehrung entgegen den bevorzugten dickeren Konturen eintritt, so daß also hier verhältnismäßig leichter einmal *ab* nach vorn und *ef* nach hinten gekehrt ist. Dabei macht sich offenbar das Prinzip der Assimilation der geläufigsten reproduktiven Elemente darin geltend, daß die Stellung *A*, in der ein Körper

auf seiner Basis aufruht, die sehr viel häufigere in unserer Wahrnehmung ist im Vergleich mit der andern, wo er, wie in *B*, vom Boden gehoben erscheint. Bei allen diesen beliebig noch weiter zu modifizierenden Umkehrungsversuchen erweisen sich die pseudoskopischen Täuschungen bei der Variation ihrer Bedingungen zugleich als die bündigsten Mittel zur Widerlegung der gerade bei ihnen von Physiologen wie Psychologen mit besonderer Vorliebe herbeigezogenen nichtssagenden Erklärungsgründe wie des »Willens«, irgend etwas so und nicht anders zu sehen, oder der »Einbildungskraft«, für die man als ein »Seelenvermögen« natürlich von vornherein das Privilegium der Ursachlosigkeit glaubt in Anspruch nehmen zu dürfen. Nicht minder ist aber die mit der Willenshypothese verwandte Erklärung aus der Richtung der Aufmerksamkeit hinfällig. Denn nichts ist gewisser, als daß sich die plastische Form völlig unwillkürlich einstellt, und daß sich die Aufmerksamkeit wohl auf sie richten kann,

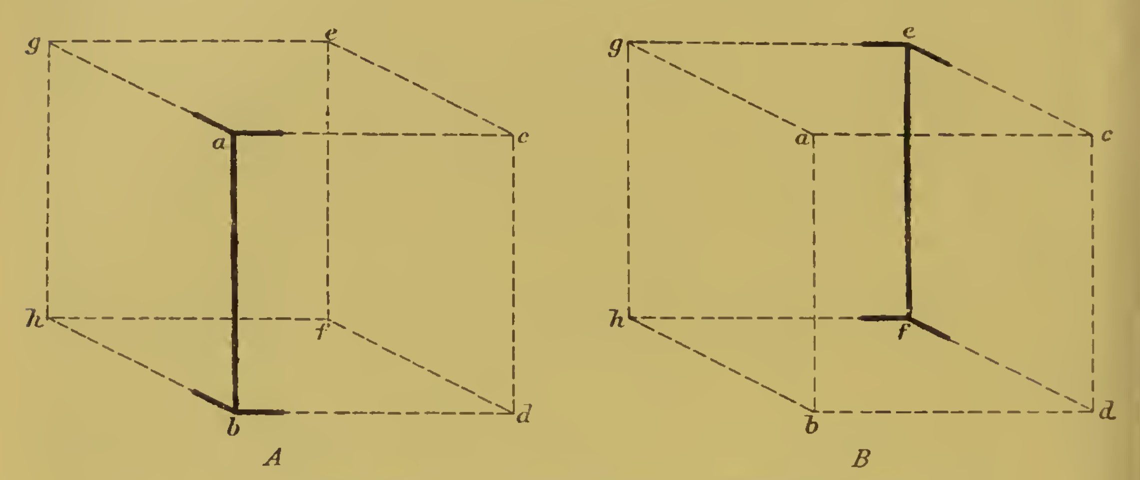


Fig. 270. Zwei Würfelnetze mit entgegengesetzten assimilativen Eigenschaften.

nachdem sie da ist, daß aber keine Macht der Aufmerksamkeit das Bild hervorruft, wenn die auslösende Blickstellung und die erforderlichen Vorbedingungen reproduktiver Assimilation fehlen. Zugleich ist diese Assimilation selbst ein völlig unwillkürlicher elementarer Assoziationsvorgang, der nach allen seinen Merkmalen von dem Vorgang der Aufmerksamkeit verschieden ist[1].

2. Die variabeln Strecken- und Richtungstäuschungen bilden ein überaus mannigfaltiges Gebiet von Erscheinungen, bei denen Unter- oder Überschätzung von linearen Strecken oder von Winkeln die vorwaltende Rolle spielen, während auch bei ihnen stets zugleich mehr oder minder ausgeprägt perspektivische Vorstellungen mitbeteiligt sind. Diese sind aber hier stets nur eindeutiger Art, niemals umkehrbar. Nun lassen sich Täuschungen über die Größe von

[1] Psychol. Stud. Bd. 2, S. 493 ff. Weitere Beispiele pseudoskopischer Erscheinungen s. unten 5 und Abschn. V, Kap. XIX, wo auch über die Natur der Assimilationen im allgemeinen zu handeln sein wird. Einige vorläufige Begriffsbestimmungen vgl. übrigens oben S. 436.

geraden Linien oder Winkeln nur dadurch als solche erkennen, daß wir eine gegebene Gerade oder einen gegebenen Winkel mit einer andern Geraden oder mit einem andern Winkel von bekannter objektiver Größe vergleichen. Eine solche Vergleichung begegnet aber dann wieder den einfachsten Bedingungen, wenn die den Vergleichungsmaßstab abgebende Größe objektiv der zu messenden gleich ist. Hiernach bezeichnen wir es als eine »Streckentäuschung«, wenn eine Strecke oder die ihr entsprechende gerade Linie größer oder kleiner erscheint als eine ihr gleiche Strecke; und eine »Richtungstäuschung« nennen wir es, wenn eine durch eine gerade Linie bestimmte Richtung von einer andern ihr gleichen abzuweichen scheint, oder wenn ein einen bestimmten Richtungsunterschied messender Winkel größer oder kleiner erscheint als ein anderer ihm objektiv gleicher Winkel. Wir nennen diese Strecken- und Richtungstäuschungen »variabel«, weil die Größe derselben durch die willkürliche Variation ihrer Bedingungen verändert und eventuell zum Verschwinden gebracht werden kann, im Gegensatze zu den nachher zu erörternden »konstanten« Strecken- und Richtungstäuschungen, bei denen eine derartige willkürliche Variation nicht möglich ist.

Die regelmäßigen Erscheinungen dieser Täuschungen sind nun die folgenden: 1) Ausgefüllte Strecken werden überschätzt gegenüber unausgefüllten, eingeteilte im Vergleich mit nicht eingeteilten. 2) Unbestimmt abgegrenzte Strecken werden überschätzt im Vergleich mit bestimmt abgegrenzten. 3) Kleine Richtungsunterschiede (spitze Winkel) werden überschätzt im Verhältnis zu großen (stumpfen Winkeln). 4) Jede Überschätzung einer Raumgröße, sei es einer geradlinigen Strecke oder eines Winkels, verbindet sich, wenn nicht bestimmte Hindernisse im Wege stehen, mit der perspektivischen Nebenvorstellung einer weiteren Entfernung des überschätzten Raumgebildes vom Auge. Dazu ist noch zu bemerken, daß die Überschätzung spitzer Winkel wahrscheinlich nur der spezielle Fall der relativen Überschätzung kleiner Größen überhaupt ist, einer Täuschung, zu deren Entstehung jedoch Winkel wegen des auffallenderen Eindrucks von Richtungsunterschieden geeigneter sind als lineare Strecken.

Die Fig. 271 zeigt zunächst die Hauptfälle einfacher Streckentäuschungen, die durch die verschiedene Ausfüllung linearer Strecken erzeugt werden. In Fig. 271 *A* sind drei Strecken von gleicher Größe nebeneinander gezeichnet: eine lineare Strecke, eine leere und eine mehrfach eingeteilte. Die leere Strecke erscheint als die kleinste, nach ihr kommt die einfache Gerade, am längsten erscheint die eingeteilte. Mit dieser verglichen erscheint aber die nicht eingeteilte Linie zugleich als die dem Beschauer nähere, wie man namentlich bei starrer monokularer

Fixation eines zwischen beiden gelegenen Punktes erkennt. Daß übrigens diese Projektion nicht die Ursache der Größentäuschung ist, dagegen spricht schon die scheinbare Verkleinerung auch des leeren Zwischenraumes, bei dem gar kein Motiv vorliegt, ihn in irgendeine Tiefe zu verlegen. Näher noch zeigt das nämliche die Fig. 271 *B*, in der eine einzige Gerade in der Mitte und die eine Hälfte dann weiterhin in mehrere Stücke geteilt ist, und wo nun die geteilte Hälfte größer erscheint als die nicht geteilte. Hier kommt wegen der unmittelbar ersichtlichen Zusammengehörigkeit beider Hälften die verschiedene Tiefenprojektion wieder, ähnlich wie bei der leeren Strecke, nicht zustande; gleichwohl bleibt die Größentäuschung deutlich zu bemerken. Daß endlich nicht die im Netzhautbilde sich geltend machende Ausfüllung einer Strecke, sondern daß Motive der Blickbewegung die Größentäuschung verursachen, dafür spricht die Fig. 269 *C*. Sie besteht genau wie *A* aus drei gleich großen Strecken, einer einfach

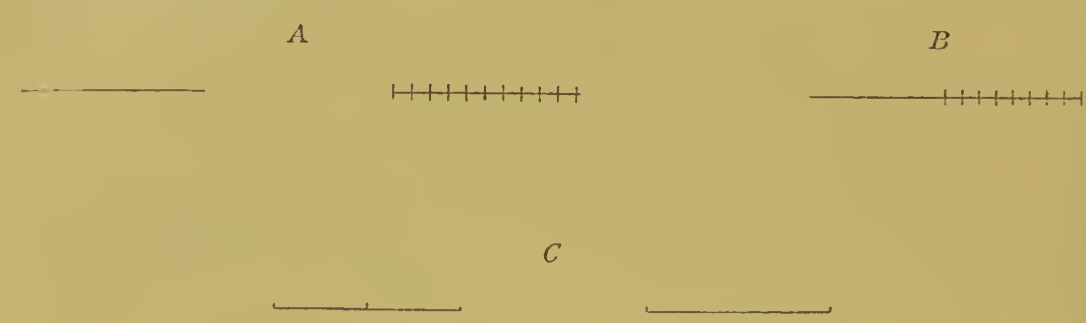


Fig. 271. Ausgefüllte und nicht ausgefüllte Strecken.

linearen, einer leeren und einer eingeteilten; aber die letztere unterscheidet sich von der eingeteilten in *A* und *B* darin, daß bloß e i n Teilpunkt beibehalten ist. Damit hat sich nun das scheinbare Größenverhältnis völlig verändert: als die längste Strecke erscheint jetzt die ausgezogene Linie rechts, dann kommt die leere, am kleinsten erscheint die durch den mittleren Teilpunkt gegliederte links. Als der Grund dieser Umkehrung drängt sich der subjektiven Beobachtung die wesentlich verschiedene Art der Blickbewegung auf, zu der die Figur herausfordert: bei der Betrachtung der ausgezogenen Linie ist man geneigt, die ganze Linie mit dem Blick zu verfolgen, bei der Betrachtung der in der Mitte geteilten haftet der Blick an dem Teilpunkt, und man pflegt daher die Linie mit relativ ruhendem Blick aufzufassen. Für den sekundären Charakter der perspektivischen Nebenvorstellungen spricht es endlich, daß sich auch diese im vorliegenden Fall umkehren; hier scheint nämlich bei starrer Fixation eines zwischen beiden gelegenen Punktes die ungeteilte Linie die fernere und die eingeteilte die nähere zu sein[1].

[1] Knox (Amer. journ. of Psychol., vol. 6, 1894, p. 413) hat die Unterschätzung einer

Als einfaches Beispiel einer Größentäuschung durch wechselnde Begrenzung erscheint die Fig. 272. Beide Halbkreise sind in Wirklichkeit genau gleich groß; aber der durch den Durchmesser geschlossene erscheint viel kleiner, und der Durchmesser selbst erscheint daher in diesem Fall kleiner als die entsprechende leere Strecke des offenen Halbkreises. Auf analoge Bedingungen weisen die von MÜLLER-LYER zuerst beobachteten, in Fig. 273 wiedergegebenen Streckentäuschungen hin. Von den beiden objektiv gleichen geraden Linien erscheint die links liegende mit den nach rückwärts laufenden schrägen Ansatzstücken viel kleiner als die rechts liegende, bei der die angesetzten schrägen Stücke im Sinne der Verlängerung der Linie selbst verlaufen. Hier wird der Blick bei der Durchmessung der Linie angetrieben, über ihre Endpunkte hinauszuschweifen, dort wird er umgekehrt durch die Ansatzstücke festgehalten, analog wie in der einmal geteilten Linie in Fig. 271 *C* durch den mittleren Punkt; und dieses Motiv wirkt, wie alle diese Blickmotive, nicht bloß bei wirklich bewegtem Blick, sondern auch bei ruhendem Auge. Bei diesen Figuren hat CH. H. JUDD einen Zusammenhang mit den Augenbewegungen direkt nachgewiesen, indem er die letzteren an dem Reflexbildchen eines auf der Hornhaut angebrachten, lichtreflektierenden Flecks verfolgte. Die Bewegungen waren zögernd, langsamer bei der verkürzten, energischer, ausgiebiger bei der länger erscheinenden Form. Auch beobachtete er, daß bei oft wiederholter längerer Fixierung der Figuren

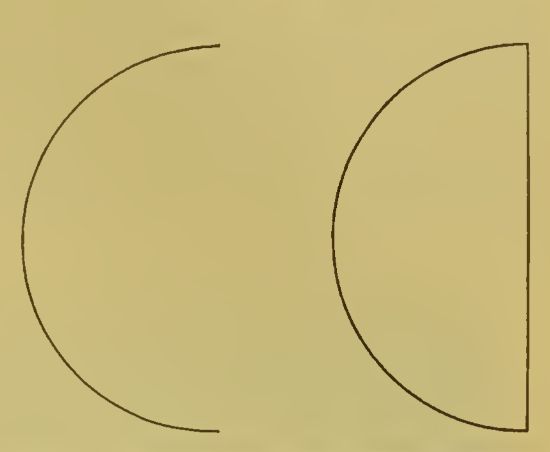


Fig. 272. Geschlossener und offener Halbkreis.

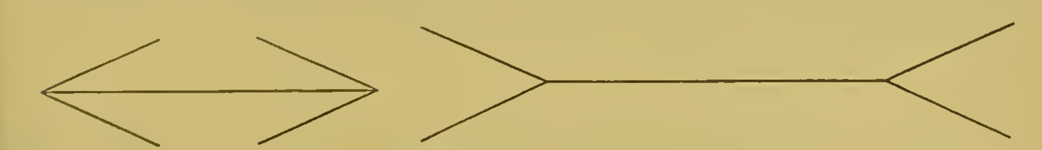


Fig. 273. MÜLLER-LYERsche Figuren.

---

leeren im Vergleich mit einer linearen Strecke bei 25—40 mm = $^1/_{13}$ für horizontale und um weniges größer für vertikale Distanzen gefunden. Bei diesen Schätzungen blieb aber der Einfluß der perspektivischen Nebenvorstellungen auf die Täuschung unberücksichtigt.

der Unterschied verschwinden konnte[1]. Die perspektivischen Nebenvorstellungen sind übrigens in Fig. 272 und 273 noch deutlicher als bei den Streckentäuschungen durch Einteilung: der geschlossene Halbkreis in Fig. 272 erscheint viel näher als der offene, die Linie links in Fig. 273 wird gleichzeitig kleiner und näher, die rechts größer und ferner gesehen. Auch hier kann man diese perspektivische Wirkung durch starre Fixation verstärken, und es läßt sich dabei zugleich, wenn man ein günstiges Lageverhältnis der Linien herstellt, die Gleichheit der Bildgröße zur unmittelbaren Anschauung bringen. Zu diesem Zweck zeichne man beide Linien horizontal so untereinander, daß ihre Endpunkte genau vertikal übereinander liegen, und fixiere dann einen zwischen beiden gelegenen Punkt. Es tritt jetzt die größer gesehene Linie weit in die Tiefe des Raumes zurück, man sieht aber deutlich, wie die Endpunkte der beiden Linien

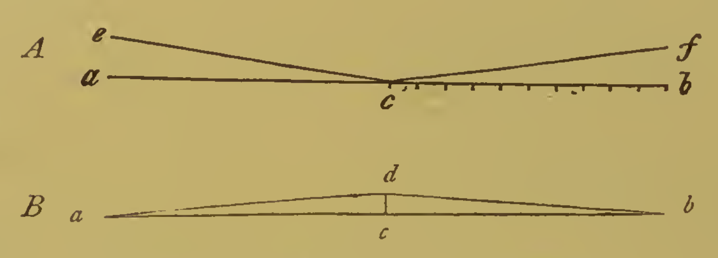


Fig. 274. Einfachste Winkeltäuschungen.

ihrer Bildgröße nach zusammenfallen. Auf diese Weise verschwindet dann infolge der perspektivischen Vorstellung der scheinbare Längenunterschied der beiden Linien. Wahrscheinlich besteht hierin auch die von JUDD beobachtete Ausgleichung der Täuschung bei öfter wiederholter Fixation.

Zu den Streckentäuschungen bieten nun die Richtungs- oder Winkeltäuschungen ein durchaus paralleles Verhalten. Die einfachsten Grundformen sind in Fig. 274 dargestellt. In *A* sieht man wegen der vergrößert erscheinenden spitzen Winkel die Gerade *a b* im Punkte *c* nach unten geknickt. In *B* scheinen wegen der entgegengesetzten Lage der Winkel die beiden Hälften *a c* und *c b* der Geraden *a b* in *c* etwas nach oben geknickt. Auch hier beobachtet man nun wieder begleitende perspektivische Vorstellungen, die besonders bei starrer monokularer Fixation

[1] CH. H. JUDD, Psych. Rev. vol. 9, 1902, p. 27. Monogr. Suppl., Yale, Psych. Stud. 1, Nr. 29, 1905. Ähnliche ophthalmographische Methoden wurden von DELABARRE (Amer. Journ. vol. 9, 1897, p. 527), HUEY (ebend. p. 583 und vol. 18, 1900, p. 283) und ORSCHANSKY (Zentralblatt der Physiol., Bd. 12, 1899, S. 785) angewandt. Ihrer Benützung für das Studium der Augenbewegungen, namentlich auch bei den geometrisch-optischen Täuschungsobjekten, steht leider die angreifende Wirkung auf das Auge störend im Wege.

hervortreten. In Figur *A* bestehen dieselben darin, daß sich die beiden Hälften *a c* und *c b* der Linie *a b* von *c* aus vom Beschauer nach der Tiefe des Raumes zu entfernen scheinen, so daß die Knickung ganz in die Tiefendimension verlegt wird und in der Projektion auf die Ebene der Zeichnung verschwindet. Leicht läßt sich auch eine sekundäre Wirkung dieser Perspektive konstatieren, wenn man, wie es in der Fig. *A* geschehen ist, die Grundlinie oder eine ihrer Hälften von der Mitte *c* an in gleiche kleine Strecken einteilt: dann erscheinen nämlich die *c* näheren Strecken kleiner als die ferneren, eine Größentäuschung, die sich in diesem Fall unmittelbar aus der angegebenen Perspektive ergibt, da Strecken, die im Netzhautbilde gleich sind, als kleinere Objekte erscheinen, wenn sie näher lokalisiert werden. Eine andere perspektivische Vor-

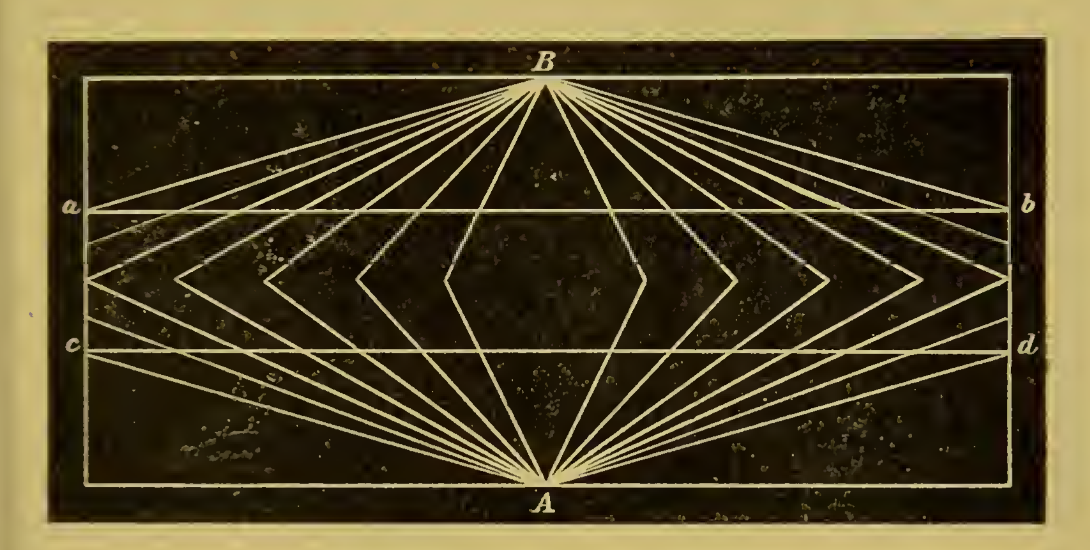


Fig. 275. Pseudoskopische Strahlenfigur.

stellung gewinnt man bei starrer monokularer Fixation der Fig. *B*: die Linie *c d* erscheint hier wie eine dem Auge zugekehrte konvexe Kante, die zugleich mit ihrem oberen Ende *d* etwas gegen den Beschauer geneigt ist, während sich die Dreiecke *c a d* und *c b d* nach der Tiefe des Raumes erstrecken. Bei dieser Perspektive ist die Angleichung der Winkeltäuschungen an das Netzhautbild besonders deutlich, weil sie sich in zwei Eigenschaften der gesehenen Figur äußert. Durch die Projektion der Winkel *a* und *b* in größere Entfernung wird nämlich die Vergrößerung dieser spitzen Winkel mit dem unveränderten Netzhautbilde derselben in Einklang gebracht; ebenso durch die Verlegung der in *c* stattfindenden Knickung der Linie *a b* in eine die Zeichnungsebene in *a b* schneidende Tiefenebene diese scheinbare Knickung mit dem geradlinigen Netzhautbilde der Linie.

Die in Fig. 274 vorgeführten einfachen Richtungstäuschungen können sich nun erheblich steigern, wenn die gleichen Motive an derselben Figur in mehrfacher Wiederholung wiederkehren. So bilden in Fig. 275 die von den Punkten *A* und *B* aus gezogenen Strahlen mit der Entfernung von der Mitte der Figur zunehmend spitzere Winkel mit den beiden parallelen Geraden *a b* und *c d*. Infolgedessen scheinen die horizontalen Geraden selbst nach beiden Seiten von der Mitte der Figur aus zu divergieren. Das Gegenstück dazu bietet der HERINGsche Stern in Fig. 276. Da hier die Richtung der spitzen Linien die entgegengesetzte ist wie vorhin, zeigen auch die parallelen Linien die umgekehrte Abweichung: sie scheinen gegen *a c* und *b d* zu konvergieren. Auf diese Weise bietet Fig. 275 eine Wiederholung des Winkelmotivs von Fig. 274 *A*, Fig. 276 eine solche von Fig. 274 *B*. Bei diesen Figuren wird zwar schon

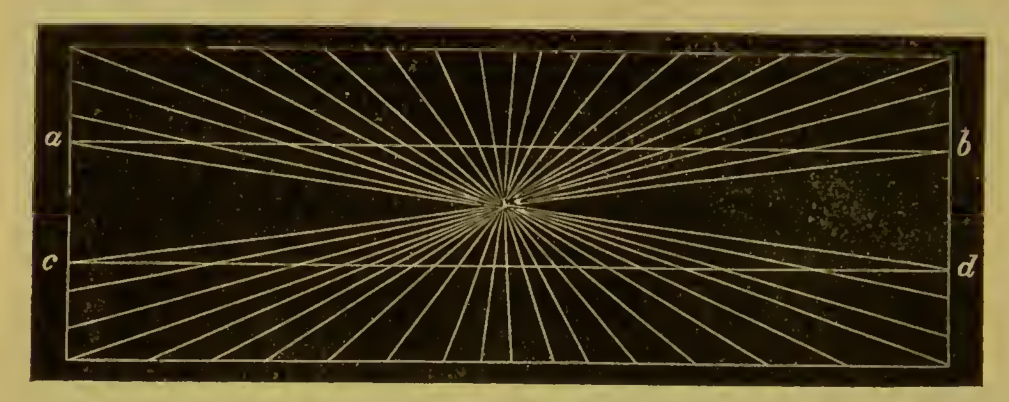


Fig. 276. HERINGsche Sternfigur.

durch die an bekannte räumliche Darstellungen erinnernde Konstruktion der Strahlenbüschel die Entstehung perspektivischer Vorstellungen begünstigt. In plastischer Lebendigkeit treten aber diese auch hier erst ein, wenn man im monokularen Sehen einen in der Mitte der Figur gelegenen Punkt fixiert. Dann erscheinen in Fig. 275 die beiden parallelen Geraden wie ein um die Figur geschlungener Ring, der mit seiner konvexen Mitte dem Beschauer zugekehrt ist. In Fig. 276 bilden umgekehrt die beiden Parallelen einen Ring, der sich, beide Strahlenbüschel durchschneidend, in seiner Mitte in die Tiefe erstreckt. Noch auffallender tritt das nämliche Verhältnis an der in Fig. 277 dargestellten Modifikation einer zuerst von F. ZOELLNER beobachteten Täuschung hervor, weil hier das Motiv der Vergrößerung der spitzen Winkel wegen der wechselnden Richtung der kurzen, die parallelen Geraden durchsetzenden Streifen abwechselnd in entgegengesetzter Richtung wirkt. Verfolgt man die Figur von oben links nach unten rechts, so scheinen zunächst die ersten beiden Linien

nach oben, dann die zweite und dritte nach unten zu divergieren, hierauf die dritte und vierte wieder nach oben usw. So lange man nun die Figur mit bewegtem Blick verfolgt, tritt zwar gelegentlich die Neigung auf, einzelne Linien perspektivisch zu sehen, doch kommt es nicht zu einer deutlichen Perspektive. Dies wird anders, sobald man sie monokular fixiert: dann erscheinen alle Linien in die Tiefe sich erstreckend, derart daß wieder von links nach rechts gezählt, zunächst die oberste Linie links mit ihrem oberen, dann die zweite mit ihrem unteren Ende dem Beschauer näher liegt, hierauf die dritte wieder mit ihrem oberen usw. Deutlich hat man dabei zugleich den Eindruck der gleichen Bildgröße, indem die scheinbare abwechselnde Konvergenz und Divergenz der Linien ausschließlich auf ihre wechselnde Erstreckung nach der Tiefe des Raumes bezogen wird. Es ist unschwer zu sehen, daß auch hier, ähnlich wie bei den vorangegangenen Figuren, die so zustande kommende räumliche Vorstellung diejenige ist, bei der Netzhautbild und scheinbare Richtungsänderung der Linien miteinander in Einklang gebracht sind. Dabei zeichnet sich aber das ZOELLNERsche Muster dadurch aus, daß die Täuschung, solange die Linien in eine und dieselbe Ebene verlegt werden, dem unmittelbaren Eindruck des Parallelismus der Linien widerstreitet. Die perspektivische Projektion, deren ausgleichende Wirkung übrigens hierbei ganz der oben bei den MÜLLER-LYERschen Streckentäuschungen (Fig. 273) erwähnten entspricht, bringt also in diesem Fall nicht nur die Täuschung mit dem Netzhautbilde, sondern sie bringt auch die widerstreitenden Elemente der Wahrnehmung miteinander in Einklang[1]. Die

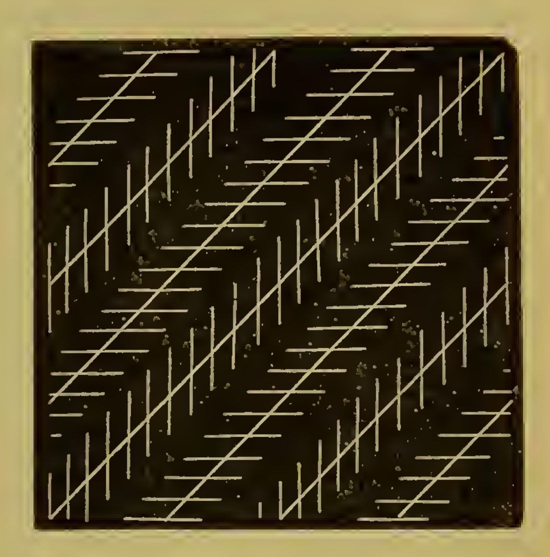


Fig. 277. ZOELLNERsche Figur.

[1] Schon HELMHOLTZ (Physiologische Optik², S. 709) hat bemerkt, bei starrer Fixation könne die ZOELLNERsche Täuschung verschwinden. Die dann so frappant hervortretende perspektive Vorstellung ist ihm aber entgangen, zum Teil wohl weil er die Beobachtung an der hierfür ungünstigeren ursprünglichen Figur ZOELLNERS ausführte (HELMHOLTZ, a. a. O. Fig. 222), vielleicht aber auch, weil er nicht monokular fixierte. Am schönsten lassen sich die MÜLLER-LYERsche wie die ZOELLNERsche Täuschung nach der oben bei den umkehrbaren Täuschungen besprochenen Methode mittels der Skioptikonprojektion beobachten. Man kann hierbei z. B. abwechselnd die beiden Linien in Fig. 273 durch plötzliche Wegnahme der Ansatzstücke gleich oder durch den Wechsel derselben die eine oder die andere kürzer bzw. länger erscheinen lassen, den Parallelismus der langen Linien der ZOELLNERschen Figur (Fig. 277) durch Wegnahme der kurzen, plötzlich herstellen oder verschwinden lassen usw. Ebenso läßt sich die ausgleichende Wirkung der perspektivischen Vorstellungen bei diesen Projektionsversuchen sehr schön aufzeigen.

in den Figuren 273—277 überall hervortretende Wechselbeziehung zwischen Richtungstäuschung und perspektivischer Vorstellung wird endlich schlagend bestätigt durch die Erscheinungen, die man an der Fig. 276 *A*, der Modifikation einer von POGGENDORFF mitgeteilten Figur, beobachtet. Verfolgt man hier den schwarzen vertikalen Streifen auf- und abwärts mit dem Blick, so erscheinen die an den Streifen stoßenden Enden der schrägen Linie eingeknickt, so wie es in *B* etwas übertrieben abgebildet ist. Diese Beobachtung beweist zunächst, daß wirklich die scheinbare Winkelvergrößerung und nicht etwa eine aus irgendwelchen andern Gründen entstandene scheinbare Lageänderung der Linien die primäre Ursache dieser Täuschungen ist. Verfolgt man nun aber statt des schwarzen Streifens die schräge Linie selbst mit fixierenden Bewegungen, so verschwinden jene Einknickungen: statt dessen ist man nun geneigt, die Schräge perspektivisch zu sehen, so, als wenn ihr unterer Teil dem Beschauer zugekehrt, ihr oberer von ihm weg nach der Tiefe des Raumes gerichtet wäre. Diese perspektivische Vorstellung wird noch plastischer, wenn man irgendeinen Punkt der Zeichnung monokular fixiert. In diesen Erscheinungen tritt auch hier die ausgleichende Bedeutung der perspektivischen Vorstellungen überzeugend hervor. So lange man die ganze Zeichnung auf die Ebene bezieht, tritt die Vergrößerung des spitzen Winkels als Knickung auf, da sich im weiteren Verlauf der schrägen Geraden deren wahre Richtung im Netzhautbilde geltend macht. Im Moment dagegen, wo man die Figur perspektivisch sieht, erscheint die Vergrößerung der Winkel als notwendiger Bestandteil der Tiefenvorstellung, und die Knickung verschwindet, indem die Angleichung an das Netzhautbild durch die Verlegung der Winkel in eine nach der Tiefe des Raumes gerichtete Ebene eintritt[1].

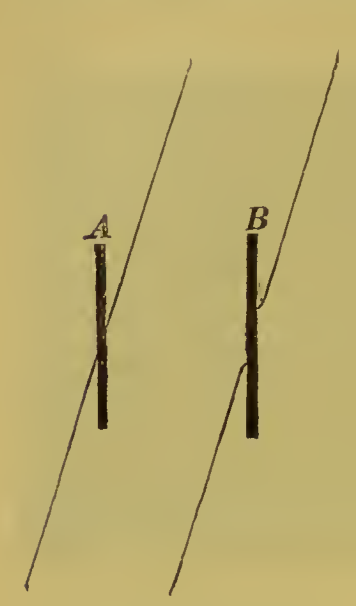


Fig. 278. Modifizierte POGGENDORFFsche Figur.

Erweisen sich in allen diesen Erscheinungen die begleitenden perspektivischen Vorstellungen als ausgleichende Faktoren der Strecken- und Richtungstäuschungen, so liegt nun aber hierin nicht bloß ein Beweis

[1] Allerdings kann man bei dem schwarzen Streifen der Fig. 278 auch an einen Einfluß der Irradiation denken, die wahrscheinlich die Täuschung begünstigt. Doch bleibt die letztere bestehen, wenn man statt des schwarzen Streifens je zwei einander parallele feine Linien auf weißem Grunde zeichnet, wo an Irradiation nicht wohl gedacht werden kann (vgl. Fig. 38, S. 123 meiner oben angef. Abhandl.). Überdies läßt sich die Aufhebung der scheinbaren Täuschung durch den Eintritt der perspektivischen Vorstellung zu der Irradiation als solcher in keinerlei Beziehung bringen.

dafür, daß jene Täuschungen nicht, wie man geglaubt hat, selbst aus perspektivischen Vorstellungen abgeleitet werden können, die unsere Phantasie an die Wahrnehmung der Raumobjekte knüpfe, sondern weiterhin auch dafür, daß nicht, wie man bisweilen angenommen hat, irgendwelche Veränderungen des Netzhautbildes, seien es dioptrische Verzerrungen, seien es Wirkungen der Netzhautkrümmung, die Ursachen derselben sein können. Da die perspektivische Vorstellung, die sich mit einer bestimmten Täuschung verbindet, jedesmal so beschaffen ist, daß sie diese ihrer Richtung und Größe nach mit der Beschaffenheit eines normalen Netzhautbildes in Einklang bringt, so ergibt sich hieraus, daß das Netzhautbild selbst normal ist, und daß in diesem Sinne die Täuschung im Widerspruch mit demselben zustande kommt und erst durch die sekundär entstehende perspektivische Vorstellung dem Netzhautbild angeglichen wird. Aus jenem Widerspruch erklärt sich dann auch die unruhige Beschaffenheit mancher dieser Täuschungen, wie z. B. der ZOELLNERschen Figur, und das völlige Verschwinden dieser Unruhe, sobald sich die Perspektive deutlich entwickelt hat. Daß diese vorzugsweise bei monokularem Sehen entsteht, begreift sich aber aus den, wie wir bald sehen werden, dem Binokularsehen eigenen direkteren Hilfsmitteln der Tiefenvorstellung. Bei der Herstellung einer solchen Übereinstimmung zwischen Netzhautbild und Größentäuschung handelt es sich endlich ebensowenig wie bei der Bestimmung der Richtung umkehrbarer Täuschungen um irgendwelche intellektuelle Überlegungen, Urteile u. dgl., sondern die perspektivische Vorstellung erscheint, ganz wie bei unseren gewöhnlichen Sinneswahrnehmungen, als ein unmittelbares assoziatives Produkt der Empfindungen. Insofern bei ihnen Assoziationen von Einfluß sind, fallen daher auch diese Erscheinungen in das Gebiet der später (in Abschn. V) zu betrachtenden Assimilationen.

Kann hiernach von »Urteilstäuschungen«, oder von einem willkürlichen Schalten der »Einbildungskraft« und der »Aufmerksamkeit« nicht die Rede sein, so bleibt, nachdem eine Veränderung des Netzhautbildes durch perspektivische Vorstellungen im Hinblick auf die im Gegenteil ausgleichende Wirkung der letzteren ausgeschlossen ist, nur noch die Blickbewegung oder, bildlich ausgedrückt, das mit dem Netzhautbild überall zusammenwirkende »Bewegungsbild« des Auges übrig. An dieses zu denken liegt aber um so näher, als bereits die Bedingungen der umkehrbaren perspektivischen Täuschungen darauf hinweisen. Nun pflegt man als ein allgemeines Kriterium für die Erklärung solcher Täuschungen aus Bewegungen des Auges nach dem Vorgang von HELMHOLTZ das folgende anzusehen: Täuschungen, die bei starrer Fixation verschwinden, werden mutmaßlich durch Bewegungen des Auges verursacht; solche,

die bei der Fixation nicht verschwinden, können dagegen nicht auf jene zurückgeführt werden[1]. So plausibel dieses Prinzip auf den ersten Blick erscheinen mag, so kann ihm schon um deswillen keine Geltung zukommen, weil Täuschungen, die bei starrer Fixation absolut verschwinden, in dieser Klasse überhaupt nicht vorkommen. Sehr häufig ändern dieselben, wie uns z. B. die Beobachtungen an der ZOELLNERschen und POGGENDORFFschen Figur (S. 587 f.) lehrten, ihren Charakter; aber sie verschwinden nicht, sondern in den angeführten Fällen tritt statt der Richtungs- die perspektivische Täuschung mehr hervor, und da durch die letztere die erstere ausgeglichen wird, so kann diese sogar günstigenfalls ganz zurücktreten; dann ist eben die perspektivische Täuschung an die Stelle der Strecken- oder Winkeltäuschung getreten, oder vielmehr: das Bild enthält jetzt beide Täuschungen vereinigt, aber die erstere ist, gemäß den Gesetzen der Perspektive, selbst zu einem Faktor der letzteren geworden. Wenn übrigens in manchen Fällen, z. B. bei den MÜLLER-LYERschen Figuren, die Größentäuschung beharrlicher ist, so ist dabei stets auch die Perspektive, namentlich wegen des Mangels der sich scheinbar in die Tiefe erstreckenden Fixationslinien, weniger ausgesprochen. Hängt so das Verschwinden der Täuschungen nicht sowohl von ihnen selbst als vielmehr von der Leichtigkeit ab, mit der sie durch hinzutretende Assimilationen kompensiert werden, so verliert das HELMHOLTZsche Kriterium überhaupt seine Geltung, um so mehr, da durchaus nicht einzusehen ist, warum die Einflüsse, die die Bewegungen des Auges etwa auf die Bildung unserer Vorstellungen ausüben, immer nur so lange dauern sollten, als diese Bewegungen unmittelbar vor sich gehen. Es muß daher nach andern Merkmalen gesucht werden, die über eine solche Beteiligung entscheiden. Hier liegt es nun offenbar am nächsten, nicht einen abnormen Zustand bei der Auffassung der Formen, wie ein solcher jedenfalls die starre Fixation ist, sondern den normalen zugrunde zu legen, bei dem regelmäßig zugleich der Charakter der Täuschungen am entschiedensten hervortritt. Hier bestätigt aber teils die objektive Registrierung der Augenbewegungen direkt diesen Zusammenhang, wie bei den MÜLLER-LYERschen Figuren, teils ist er nach den allgemeinen Bedingungen der Bewegungsanstrengung gefordert, wie bei der Vergrößerung eingeteilter Strecken und Winkel gegenüber nicht eingeteilten. Der nämliche Zusammenhang kehrt dann bei der relativen Überschätzung kleiner im Verhältnis zu großen Strecken, kleiner zu großen Winkeln wieder. Denn der Aufwand an Bewegungsenergie ist unter sonst gleichen Bedingungen bei kürzeren Bewegungen relativ

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 566, [2] S. 709 ff.

größer als bei umfangreicheren. Nimmt man hierzu die nahe Beziehung zu den umkehrbaren Täuschungen, so kann kein Zweifel obwalten, daß diese sämtlichen Erscheinungen, die in der Existenz eindeutiger perspektivischer Nebenvorstellungen ihr nächstes Kriterium haben, von der relativen Energie der zur Ausmessung der Strecken oder Richtungsunterschiede aufgewandten Blickbewegung abhängen, und daß den perspektivischen Nebenvorstellungen dabei die Bedeutung einer assimilativen Ausgleichung zwischen dem nach der Bewegungsenergie bemessenen Bewegungsbild des Gegenstandes und dem auf optischem Wege entstandenen Netzhautbild zukommt.

3. Gegenüber den variabeln entziehen sich die konstanten Strecken- und Richtungstäuschungen, eben weil sie für jedes individuelle Sehorgan einen annähernd konstanten Wert haben, zumeist der experimentellen Variation der Bedingungen. Wir sind daher hinsichtlich ihres Ursprungs mehr auf Vermutungen angewiesen, die sich auf die Verhältnisse der Funktion selbst, sowie auf die bei den variabeln Täuschungen ermittelten Bedingungen stützen. Als die auffallendste konstante Streckentäuschung gehört hierher die Überschätzung vertikaler im Verhältnis zu gleich großen horizontalen Abständen. Will man nach dem Augenmaß eine regelmäßige Figur, z. B. ein Quadrat oder ein gleichschenkliges Kreuz, zeichnen, so macht man regelmäßig die vertikale Dimension zu klein, und ein wirkliches Quadrat erscheint daher wie ein Rechteck, dessen Höhe größer ist als seine Basis[1]. Die Täuschung ist am größten, wenn man Punktdistanzen vergleicht, wo ich sie bis auf $^1/_5$ sich erheben sah, indem einer vertikalen Distanz von 20 eine horizontale von 25 mm gleich geschätzt wurde; sie ist kleiner bei der Vergleichung von Lineargrößen, und auch hier wechselt sie nach der Beschaffenheit der Figuren: ich finde sie z. B. an einem gleichschenkligen Kreuz oder an einem gleichschenkligen Dreieck von gleicher Höhe und Grundlinie größer als an einem Quadrate; sie verschwindet völlig beim Kreis. R. FISCHER fand sie beim Kreuz etwa $= ^1/_7$ (100 : 115), wenn die Länge der Kreuzarme 7 bis 30,8 mm betrug[2]. CHODIN fand den relativen Wert des Unterschieds außerdem abhängig von der absoluten Größe der Distanzen, mit der er zuerst rasch zunimmt, um dann annäherd konstant zu

---

[1] Zuerst hat wohl OPPEL (Jahresber. des Frankfurter Vereins, 1854—1855, S. 37) auf diese in neuerer Zeit viel besprochene Erscheinung aufmerksam gemacht. Vgl. auch meine Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 158. Mit Unrecht hat HELMHOLTZ Versuche von FICK hierher bezogen, in denen derselbe ein kleines schwarzes Quadrat auf hellem Grunde abwechselnd in Höhe- und Breitedurchmesser vergrößert sah: sie sind offenbar auf die reguläre Meridianasymmetrie des Auges zurückzuführen, wie dies auch von FICK selbst geschehen ist. (FICK, Zeitschrift für rat. Medizin, 2 R. Bd. 2, S. 83. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 596, [2] S. 741.)

[2] R. FISCHER, Archiv für Ophthalmologie. Bd. 37, 1, 1891, S. 102.

bleiben. Es ergaben sich nämlich bei der Schätzung von Lineardistanzen folgende relative Unterschiede[1]:

bei	2,5	5	10	20	40	80	160 mm
	1/61	1/36	1/20	1/15	1/12	1/9.5	1/12

Der Grund des Verschwindens oder des viel geringeren Betrags der Abweichungen beim Kreis und bei andern regulären geometrischen Figuren kann möglicher Weise ein verschiedener oder auch aus mehreren Faktoren gemischt sein. So dürfte der verschiedene Eindruck, den ein aufrecht stehendes und ein um 90° gegen diese Lage gedrehtes Quadrat auf uns hervorbringt (Fig. 279 *A* u. *B*), zum Teil auf der Differenz zwischen der Schätzung leerer vertikaler und horizontaler Distanzen in *B* gegenüber den linearen in *A* beruhen. Dabei läßt dann überdies die bedeutendere Größe der beiden Hauptdimensionen in *B* die ganze Figur größer erscheinen. Bei dem Kreis verschwindet die Ungleichheit völlig, wahrscheinlich weil für dessen Auffassung nicht sowohl die Durchmesser maßgebend sind als die überall gleichen Krümmungen der Peripherie. Auf dieser Verschiedenheit der Auffassungsbedingungen beruht es wohl auch, daß der Flächeninhalt des Kreises unterschätzt wird im Verhältnis zu dem eines gleich großen Quadrates[2]. Außerdem ist es aber im Hinblick auf die perspektivischen Nebenvorstellungen bei den variabeln Täuschungen und die in ihnen überall hervortretenden Assoziationstendenzen wahrscheinlich, daß auch in diesem Fall, wo die sonstigen Motive perspektivischer Vorstellungen fehlen, doch die Gewohnheit, gewisse Formen in einem bestimmten Verhältnis ihrer Dimensionen zu sehen, einen assimilativen Einfluß auf das Bild ausübt. So dürfen wir es wohl als einen maßgebenden Faktor des Eindrucks ansehen, daß wir einen Kreis, ein reguläres Vieleck oder auch ein Quadrat in der in Fig. 279 *B* gezeichneten Lage als reguläre Figuren, Ornamente u. dgl. zu sehen gewohnt sind, daß uns aber anderseits z. B. ein aufrecht stehendes Rechteck eine ge-

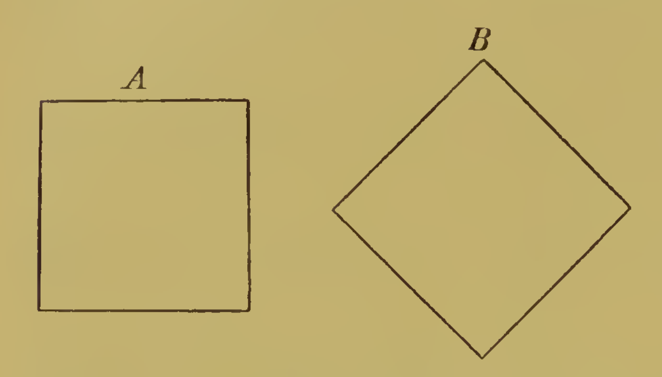


Fig. 279. Überschätzung vertikaler linearer und Punktdistanzen.

[1] Chodin, ebend. Bd. 23, 1, 1877, S. 92.

[2] Bolton, Amer. journ. of Psychol., vol. 9, 1897, p. 167. Über den Einfluß der Höhenüberschätzung bei Dreiecken vgl. R. Seyfert, Philos. Stud. Bd. 18, 1902, S. 211.

läufigere Erscheinung ist als ein reguläres Quadrat, oder ein aufrecht stehendes Kreuz in seiner konventionellen Form mit verschieden großen vertikalen und horizontalen Schenkeln geläufiger als eine nach allen Richtungen symmetrische Kreuzesform[1].

Ähnliche, jedoch viel geringere Täuschungen, wie in Fig. 277 *A*, beobachtet man bei der Vergleichung solcher Entfernungen, von denen die eine im obern, die andere im untern Teil des Sehfeldes liegt: man überschätzt hier stets die obere Distanz. Sucht man also eine vertikale gerade Linie nach dem Augenmaß zu halbieren, so macht man die obere Hälfte durchschnittlich etwa um $^1/_{16}$ zu klein[2]. Diese Überschätzung macht sich vielleicht auch bei folgender Beobachtung geltend: ein S oder eine 8 in gewöhnlicher Druckschrift scheinen aus einer oberen und unteren Hälfte von beinahe gleicher Größe zu bestehen: stellt man aber beide Zeichen auf den Kopf: S, 8, so bemerkt man sofort die Verschiedenheit[3]. Ebenso finden sich bei der Ausmessung der äußern und innern Hälfte des Sehfeldes kleine Unterschiede, die freilich nur bei einäugigem Sehen wahrnehmbar sind. Bei binokularer Betrachtung halbiert man nach dem Augenmaß eine horizontale Linie ziemlich genau in der Mitte; die kleinen Fehler, die begangen werden, weichen durchschnittlich ebenso oft nach der einen, wie nach der andern Richtung ab. Sobald man dagegen das eine Auge schließt, so ist man geneigt die äußere Hälfte, also für das rechte Auge die rechte, für das linke die linke zu klein zu machen. FISCHER fand bei verschiedenen Distanzen durchschnittlich an seinem rechten Auge das Verhältnis außen : innen = 113,15 : 116,21, an seinem linken 114,49 : 115,44[3]. KUNDT, der diesen Schätzungsfehler zuerst bemerkte, erhielt bei freilich nur einer Distanz (10 cm in 226 mm Entfernung) viel kleinere Werte, nämlich 100 : 100,31 rechts, und 100 : 100,66 links[4].

[1] A. THIÉRY (Phil. Stud. Bd. 11, S. 366 ff.), der alle geometrisch-optischen Täuschungen auf perspektivische Vorstellungen zurückführte, nimmt an, die Figur 277 *A* werde etwa in der Lage gesehen, in der wir ein Buch beim Lesen zu halten pflegen usw. Ich kann weder bei dieser noch bei irgendeiner andern der konstanten Täuschungen etwas von einer solchen Perspektive wahrnehmen, so deutlich mir diese bei der obigen Klasse der variabeln Täuschungen erscheint. Insofern aber durch die letzteren assimilative Wirkungen mit Sicherheit nachgewiesen werden, leuchtet es ein, daß solche durch geläufige Vorstellungselemente auch in allen Fällen nicht fehlen werden, wo die Nebenvorstellung einer Perspektive nicht zustande kommen kann. Dafür dürfte in der Tat das verschiedene Verhalten der Figuren *A* und *B* in Fig. 277 ein guter Beleg sein.

[2] DELBOEUF, Note sur certaines illusions d'optique; Bulletins de l'acad. roy. de Belgique, 2. sér. t. 19, 2, p. 195. Übrigens ist diese Differenz weniger konstant als die vorige. FISCHER (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 37, 3, 1891, S. 55) unterschätzte sogar regelmäßig die obere Hälfte der Vertikalen. Doch ist zu bemerken, daß FISCHERs Augen stark myopisch sind. MELLINGHOFF fand in Beobachtungen im Leipziger Laboratorium bei verschiedenen Individuen zwar die Größe der Täuschung wechselnd, ihre Richtung aber konstant in dem von DELBOEUF beobachteten Sinne.

[3] FISCHER, a. a. O. S. 112.

[4] KUNDT, POGGENDORFFs Annalen, Bd. 120, S. 118.

Andere konstante Fehler treten bei der Schätzung der Richtung von Linien und der Größe von Winkeln ein. Errichtet man auf einer Horizontallinie eine genau senkrechte Gerade, so scheint diese in einäugigem Sehen nicht vollkommen vertikal zu stehen, sondern etwas nach oben und innen, also für das rechte Auge mit dem oberen Ende nach links, für das linke nach rechts geneigt zu sein. Der äußere Winkel, den die Vertikale mit der Horizontalen macht, erscheint daher etwas größer, der innere etwas kleiner als 90°. In Versuchen VOLKMANNs betrug die Differenz durchschnittlich 1,307° für das linke, 0,82° für das rechte Auge[1]. DONDERS fand, daß die Neigung veränderlich ist und oft innerhalb kurzer Zeit bei normalen Augen zwischen 1 und 3 Winkelgraden variieren kann[2]. Auf diese Veränderungen ist nicht nur die Richtung der Blicklinien, sondern auch die Richtung der Konturen im Sehfeld von Einfluß, da fortwährend das Streben besteht, eine leichte Inkongruenz der beiden Netzhautbilder durch schwache Rollbewegungen des Auges um die Blicklinien auszugleichen. (Vgl. unten Nr. 5.) So tendiert die Ausfüllung des Gesichtsfeldes mit schrägen Fixierlinien die Richtung der scheinbaren Vertikalen, außerdem aber auch die der Horizontalen im gleichen Sinne zu verändern. Besonders beim Lesen einer schräg gehaltenen Druckschrift können auf diese Weise Abweichungen jener beiden Linien bis zu 3°—5½° vorkommen[3]. Eine Folge der oben angegebenen regelmäßigen Täuschungen über die Richtungen vertikaler Linien ist es nun, daß, wenn man zu einer gegebenen Horizontalen eine Senkrechte nach dem Augenmaß zieht, diese eine mit ihrem oberen Ende nach außen geneigte Lage hat. So ist in Fig. 280 *ab* die scheinbare Vertikale für mein rechtes, *cd* für mein linkes Auge; die Richtungen der wirklichen zur Horizontallinie *AB* in *r* und *l* senkrecht stehenden Geraden sind durch die kurzen Striche $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ angedeutet. Bei binokularer Betrachtung verschwindet die Täuschung, ähnlich derjenigen über die Halbierung einer horizontalen Entfernung, oder es bleiben höchstens sehr kleine Abweichungen.

Um über den Ursprung dieser verschiedenen konstanten Täuschungen Rechenschaft zu geben, ist es wohl am zweckmäßigsten, von der zuletzt beschriebenen Richtungstäuschung auszugehen, weil bei ihr der Zusammenhang mit gewissen funktionellen Verhältnissen am deutlichsten zu sein scheint. Schon JOHANNES MÜLLER hat beobachtet, daß, wenn man beide Augen zwanglos, ohne Fixation eines bestimmten Punktes, auf- und abwärts bewegt, die Hebung der Visierebene unwillkürlich mit verminderter,

[1] VOLKMANN, Physiol. Untersuchungen im Gebiete der Optik. Bd. 2, S. 224.
[2] DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 3, 1875, S. 100 f.
[3] HOFMANN und BIELSCHOWSKY, PFLÜGERS Archiv, Bd. 126, 1902, S. 453 ff.

die Senkung mit vermehrter Konvergenz der Blicklinien verbunden ist. Diese Änderung entspricht aber den allgemeinen Bedingungen des Sehens, vermöge deren sich die Blicklinien im allgemeinen beim Blick nach aufwärts auf fern liegende, beim Blick nach abwärts auf nahe liegende Gegenstände einstellen. Wollen wir also den Blick in vertikaler Richtung von oben nach unten bewegen, so wird er dabei unwillkürlich etwas nach innen abgelenkt, und, wie wir oben (S. 555) sahen, ist schon die Muskelanordnung des Auges auf diese Bevorzugung der Konvergenz bei abwärts gekehrter Blickrichtung angelegt, oder, wie wir es wohl angemessener ausdrücken, die Muskelanordnung hat sich als ein notwendiges Produkt

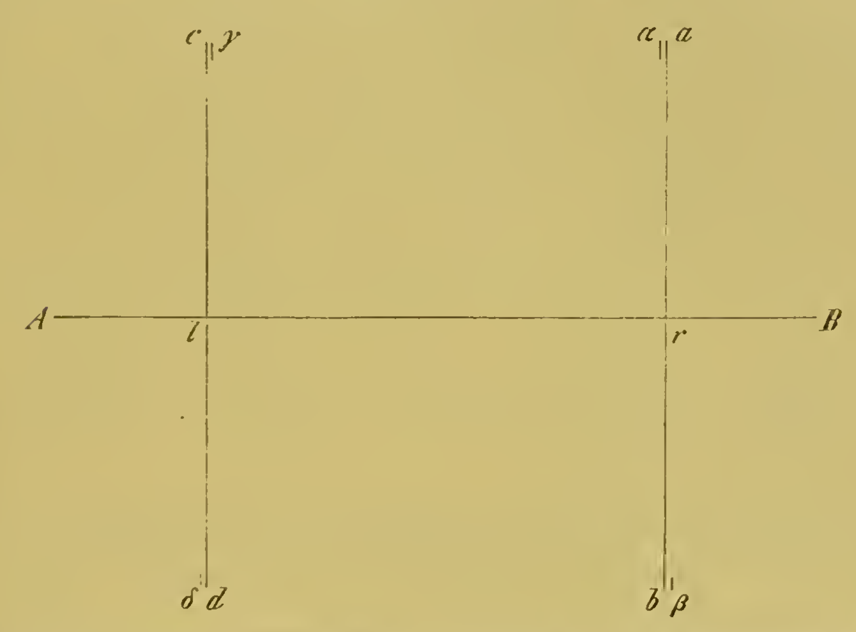


Fig. 280. Neigungen der scheinbaren Vertikalen im linken und rechten Auge.

der Funktion so entwickelt. Demgemäß wird dann diese zwangloseste Auf- und Abwärtsbewegung als diejenige aufgefaßt, die der vertikalen Richtung im Sehfeld entspricht, und eine wirkliche Vertikallinie muß nun nach der entgegengesetzten Seite geneigt erscheinen. Zudem gibt es einen bestimmten Fall, wo das Auge, wenn es eine im Blickfeld vertikale Gerade fixierend von oben nach unten verfolgen will, in der Tat jene schwache Einwärtsdrehung ausführen muß, dann nämlich, wenn das ebene Blickfeld auf einer abwärts geneigten Richtung der Gesichtslinie senkrecht steht, d. h. wenn die Gerade mit ihrem oberen Ende vom Beobachter weggeneigt ist. Dieser Fall entspricht aber der Primärstellung. So steht die Täuschung wahrscheinlich einerseits mit den normalen, durch die Bedürfnisse des Sehens bestimmten Augenbewegungen, anderseits mit der in den nämlichen Bedürfnissen begründeten Lage der Primärstellung in

Zusammenhang. Stehen auf diese Weise die konstanten Richtungstäuschungen in sichtlichem Zusammenhang mit den durch funktionelle Verhältnisse begründeten Abweichungen der Augenbewegungen, so werden nun die konstanten Streckentäuschungen um so wahrscheinlicher auf die gleichen Motive zurückzuführen sein, als beide in der Tat auf die nämlichen Asymmetrien der Bewegungsfunktionen zurückweisen. So entspricht dem komplizierteren Mechanismus der Hebung und Senkung des Auges gegenüber der Aus- und Einwärtsbewegung, mit dem die Richtungstäuschung zusammenhängt, die Überschätzung vertikaler gegenüber horizontalen Distanzen, und der auf eine vollkommenere Einübung der Ab- und der Einwärtsbewegung gerichteten Ausbildung des Bewegungsmechanismus entspricht die relative Überschätzung der in der entgegengesetzten Richtung gelegenen Strecken, also einer oberen gegenüber einer gleich großen unteren, einer äußeren gegenüber einer inneren. Kurz: die konstanten Richtungs- und Streckentäuschungen entsprechen unmittelbar der durch die Ausbildung des Doppelauges gegebenen Bevorzugung der Konvergenz- und der Abwärtsbewegungen und den dadurch bedingten Asymmetrien der Bewegungsfunktionen. Als Nebeneinflüsse können dann aber auch hier, wie oben ausgeführt, Assoziationen mit bekannten Objekten teils im Sinne der Verstärkung teils in dem der Verminderung der Täuschung mitwirken.

Für die konstanten Streckentäuschungen, insbesondere für die auffallendste, die Überschätzung der Vertikaldimension, hat man zuweilen auch einen optischen Ursprung angenommen. Namentlich hat man dabei an einen gewissen Grad von Astigmatismus gedacht. Aber dieser kommt in jeder Richtung vor; auch wird die Aufhebung der Täuschung beim Kreis, regulären Vieleck u. dgl. dadurch erklärlich. Sobald man dagegen auf Grund der umkehrbaren und der variabeln Täuschungen dem Begriff des »Bewegungsbildes« neben dem des Netzhautbildes sein Recht einräumt, werden auch ebenso gut Abweichungen in der Beschaffenheit des ersteren wie in der des letzteren wahrscheinlich. Wie einige der hauptsächlichsten unter den dioptrischen Täuschungen durch den asymmetrischen optischen Bau des Auges bedingt sind, so wird daher die asymmetrische Anordnung des an den Funktionen des Sehens beteiligten Muskelapparates von Einfluß auf das Bewegungsbild und damit auf das resultierende Wahrnehmungsbild sein. So ist besonders eine der konstanten Täuschungen eine durchaus dem regulären Astigmatismus analoge Erscheinung, die aber gleichwohl auf diesen selbst nicht zurückgeführt werden kann: das ist die regelmäßige Überschätzung vertikaler gegenüber horizontalen Distanzen. Von den umkehrbaren und den variabeln Täuschungen scheidet sie ihre dem allgemeinen Verhalten psychophysischer Konstanten entsprechende Regelmäßigkeit. Dazu kommt das Fehlen perspektivischer Nebenvorstellungen, das sich leicht daraus erklärt, daß eine Anpassung des Bewegungsbildes an das Netzhautbild hier hinwegfällt, weil sich ein für allemal Netzhaut- und Be-

wegungsbild zu einem Wahrnehmungsbilde vereinigten, das die Resultante beider Komponenten zum Ausdruck bringt. Mit dieser Deutung stimmt die physiologische Tatsache überein, daß die Anordnung der das Auge auf- und abwärts und nach außen und innen bewegenden Muskeln die größten Abweichungen zeigt, in dem Sinne, daß, infolge der partiellen Gegenwirkung der Recti und der Obliqui, bei der Auf- und Abwärtsbewegung ein größerer Aufwand von Muskelenergie zur Erzeugung einer Drehung von gleichem Umfange erforderlich ist, als bei der Aus- und Einwärtsbewegung. Entsprechend werden wir dann die kleineren konstanten Streckentäuschungen nach oben und unten, außen und innen, die in der Regel in dem Sinne stattfinden, daß nach auf- und auswärts gehende Raumstrecken überschätzt werden im Vergleich mit solchen, die nach abwärts und nach einwärts gehen, auf analoge kleinere Asymmetrien der motorischen Funktionen beziehen dürfen, da sie ihrer Richtung nach ebenfalls den funktionellen Bedingungen entsprechen. Denn vermöge jener Anlage zu einem »Konvergenzmechanismus«, der die Primärstellung ihren Vorzug verdankt, sind wieder die Abwärts- und die Einwärts- gegenüber der Auf- und Auswärtsbewegung erleichtert, wie sich das namentlich an der viel intensiveren Empfindung der Anstrengung beim Blick nach aufwärts als bei dem nach abwärts verrät. So ist die Beobachtung des gestirnten Himmels durch das Fernrohr anstrengender, als die Betrachtung mikroskopischer Objekte, die Durchmusterung der Deckengemälde einer Galerie viel ermüdender als die ihres Mosaikfußbodens usw.

4. Gegenüber den bisher erörterten Erscheinungen nimmt die letzte Gruppe, die der Assoziationstäuschungen, insofern eine Ausnahmestellung ein, als bei ihr die Einflüsse des Bewegungsmechanismus, insoweit sie nicht von jedem Wahrnehmungsvorgang unzertrennlich sind, zurücktreten, und dagegen die in den beiden vorigen Fällen mehr sekundären assoziativen Wirkungen als maßgebende Faktoren hervortreten. Sind physiologische Bedingungen auch hier im Spiele, so kann es sich also jedenfalls nur um zentrale handeln, für die wir eine andere als die psychologische Interpretation zunächst nicht besitzen. Stehen diese Erscheinungen demnach unter den übrigen Täuschungen des Augenmaßes einigermaßen isoliert da, so sind sie es aber um so weniger innerhalb der normalen Sinnestäuschungen überhaupt, wie sie uns auch in andern Sinnesgebieten begegnet sind. Insbesondere die assoziativen Gewichtstäuschungen (S. 29), der Aristotelische Tastversuch (S. 487), und teilweise selbst gewisse dem Florkontrast zufallende Erscheinungen (S. 268) können als mehr oder minder analoge Fälle hierher gezählt werden. Auch nähern sich ihnen durch die starke Beteiligung assoziativer Faktoren die umkehrbaren perspektivischen Täuschungen. Aus demselben Grunde wie bei diesen muß daher ihre nähere Erörterung dem Kapitel über die Assoziationen vorbehalten bleiben. Hier sei vorläufig nur je ein Beispiel für jede der Hauptformen von Assoziationswirkung angeführt, die innerhalb dieser Gruppe vorkommen. Ich wähle die Beispiele zugleich so, daß sie an sonst übereinstim-

menden Objekten in abweichendem Sinne auftreten. Die erste Grundform ist die der assoziativen Angleichung. Die beiden weißen Sektoren *A* und *B* der Fig. 281 sind von gleicher Größe: der von den breiteren schwarzen Sektoren begrenzte in *A* erscheint aber größer, der von den schmäleren begrenzte in *B* kleiner, indem jeder den ihm benachbarten angeglichen wird. Die entgegengesetzte Wirkung, den assoziativen Kontrast, zeigt die Fig. 282. Auch hier sind beidemal die mittleren Sektoren von gleicher Größe. Aber in *A* bilden zwei weit schmälere, in *B* zwei viel breitere die Umgebung: jetzt, wo der Unterschied zu groß ist, um Angleichung zuzulassen, erscheint der mittlere Sektor in *A* ver-

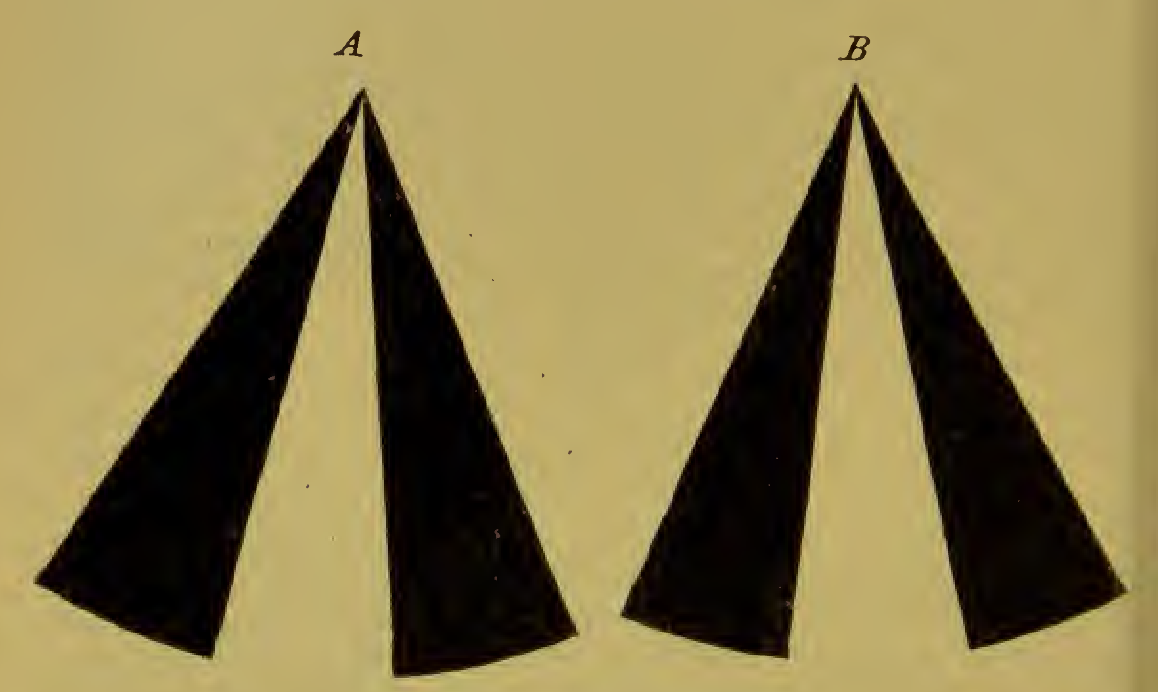


Fig. 281. Assoziative Angleichung.

breitert, in *B* verschmälert. Wir haben hier demnach zwei typische Fälle einer Assimilation und einer Dissimilation in dem früher (S. 437) erwähnten Sinne vor uns, wobei sich die letztere deutlich als ein Grenzfall der ersteren darstellt, indem diese plötzlich in jene überspringt, sobald die Grenze möglicher Angleichung überschritten ist.

Eine Gesamterklärung der geometrisch-optischen Täuschungen kann naturgemäß, da sie unvermeidlich mitten hinein in das psychologische Raumproblem selbst führt, erst im Zusammenhang mit der allgemeinen Theorie der Gesichtsvorstellungen versucht werden. Nur auf ein negatives und auf ein positives Resultat sei daher hingewiesen, die sich den obigen Ergebnissen ohne weiteres entnehmen lassen, und

die zugleich wichtige leitende Gesichtspunkte für jene Theorie abgeben. Erstens: ein willkürliches Spiel der sogenannten Einbildungskraft, Urteilstäuschungen und ähnliche willkürliche oder zufällige Einflüsse sind, ebenso gut wie dioptrische Abnormitäten und sogenannte retinale Energien, Verlegenheitshypothesen, die einer eindringenden Untersuchung nirgends standhalten. Vor allem das bei den angeblich psychologischen Deutungen angenommene willkürliche Spiel der Phantasie oder einer durch Trugmotive irregeleiteten Reflexion macht bei näherem Zusehen überall einer strengen Gesetzmäßigkeit Platz, die selbst da herrscht, wo auf den ersten Anschein, wie bei den umkehrbaren Täuschungen, der wechselnde Charakter der Er-

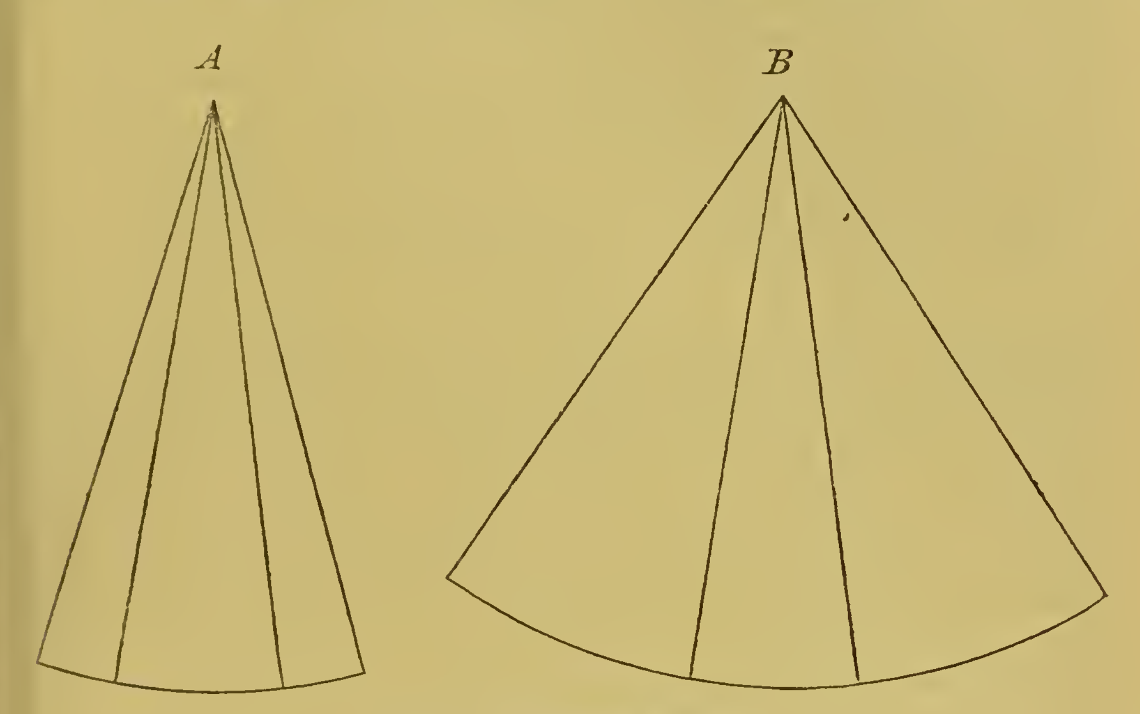


Fig. 282. Assoziativer Kontrast.

scheinungen am ehesten eine solche Vermutung unterstützen könnte. Zweitens: alle diese normalen Täuschungen des Augenmaßes weisen auf ein Zusammenwirken d r e i e r Faktoren hin: der optischen, der motorischen Funktionen des Auges und assoziativer Elementarwirkungen, von denen die letzteren wieder in direkte und reproduktive zerfallen. Am klarsten treten uns diese Faktoren bei den umkehrbaren Täuschungen entgegen, wo sie sich in eine durch bestimmte Reizmotive bestimmte Aufeinanderfolge ordnen: zuerst ist das Netzhautbild da, dann tritt eine bestimmte Augenstellung eventuell mit sich anschließender Augenbewegung hinzu, und diese erwecken nun die assimilierenden reproduktiven Elemente, die die entsprechende plastische Vorstellung erzeugen. Bei den variabeln Täu-

schungen sind die gleichen drei Faktoren in etwas veränderter Form und Reihenfolge wirksam: an das Netzhautbild schließt sich hier das »Bewegungsbild«, das die Täuschung erzeugt, dann sich aber mit dem Netzhautbild unter assimilativem Hinzutritt reproduktiver Elemente zu einem ruhenden plastischen Gesamtbilde zusammenschließt, in welchem die Täuschung selbst den normalen Bedingungen des perspektivischen Sehens angeglichen ist. Bei den konstanten Täuschungen gewinnt das »Bewegungsbild« die größte Macht, es überwindet völlig die abweichende Beschaffenheit des Netzhautbildes; aber es wird nun durch assimilative Elemente bald unterstützt, bald zurückgedrängt, so daß bei gewissen Objekten, z. B. dem Quadrat, das »Bewegungsbild«, bei andern, z. B. dem Kreis, das Netzhautbild zum entscheidenden Faktor wird. Endlich bei den Assoziationstäuschungen treten die optischen wie die motorischen Funktionen in die ihnen bei jedem Wahrnehmungsvorgang zufallende Rolle zurück, und um so bestimmender wird nun der Assoziationsmechanismus, der diesmal in der doppelten Form der direkten und der reproduktiven Assimilation in Wirksamkeit tritt. Denn bringt jene durch die Verhältnisse der Bildteile zueinander die Angleichung wie den Kontrast unmittelbar hervor, so greift doch in die Angleichung die geläufige Reproduktion gleichgeteilter Objekte unterstützend ein, und auch beim Kontrast fehlt diese reproduktive Hilfe nicht, insofern sich derselbe wiederum durch den Gegensatz zu geläufigen gleichteiligen Formen verstärkt. So bilden diese verschiedenen Gruppen geometrisch-optischer Täuschungen keineswegs disparate, sondern untereinander zusammenhängende Erscheinungen; nur daß in jeder Gruppe jene drei Faktoren des Netzhautbildes, des »Bewegungsbildes« und der assimilativen Einwirkungen je nach den besonderen Bedingungen in verschiedenem Grade einwirken. Das Ganze einer Täuschung beruht aber, gerade so wie das Ganze einer Vorstellung, auf allen diesen Faktoren zugleich: auf dem optischen und dem motorischen Mechanismus und auf den Motiven, denen das Bewußtsein vermöge seiner gegenwärtigen und seiner vorangegangenen Erlebnisse unterworfen ist.

Seit Jul. Oppel als der Erste eine Anzahl der oben erörterten und von ihm mit dem Namen »geometrisch-optische Täuschungen« belegten Erscheinungen beschrieb[1], und seit in vereinzelten Beobachtungen und in zusammenhängenden Arbeiten namentlich im Verlauf der letzten Jahre die früher mehr sporadischen Beobachtungen vielfach durch planmäßigere Untersuchungen abgelöst wurden, hat sich auf diesem Gebiet eine solche Fülle von Beobachtungen angesammelt, daß an eine irgend erschöpfende Schilderung derselben hier nicht gedacht werden kann. Auch würde eine solche nur in einer Wieder-

[1] Oppel, Jahresber. des physik. Vereins zu Frankfurt a. M. 1854—55, S. 37, 1856—57, S. 47, 1860—61, S. 26.

holung der Hauptmotive bestehen können, die in den oben angeführten Beispielen vorkommen. Doch mögen jenen typischen Beispielen hier noch einige weitere folgen, die teils auf die Bedingungen der Erscheinungen Licht werfen, teils durch die bei ihnen obwaltende Mischung verschiedener Motive charakteristisch sind. Zugleich sei bemerkt, daß die wirksamste Methode zur Erzeugung namentlich der variablen Strecken- und Winkeltäuschungen darin besteht, daß man sie, ähnlich wie die umkehrbaren perspektivischen Täuschungen (S. 576), im verdunkelten Raum vor den Augen des Zuschauers durch Pro-

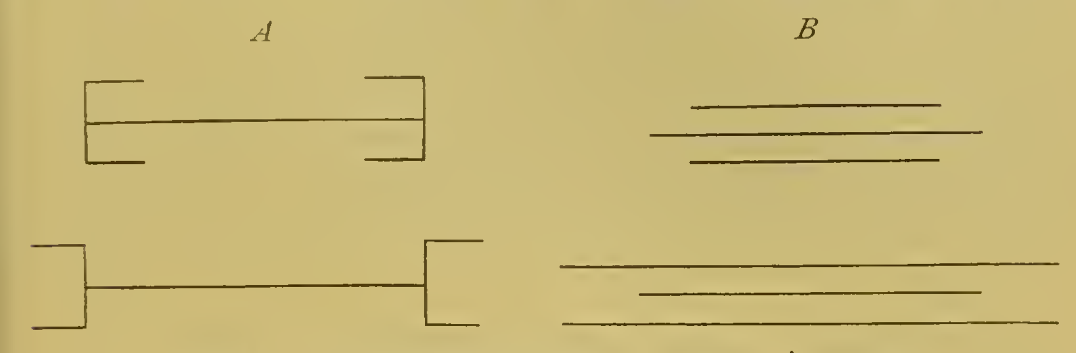


Fig. 283. Modifikationen der MÜLLER-LYERschen Täuschung.

jektion mit dem Skioptikon entstehen läßt. Man wirft also z. B. bei der ZOELLNERschen Figur zunächst nur die langen parallelen Linien an die Wand, dann läßt man plötzlich die kleinen Querlinien hinzutreten: der Effekt der Richtungsänderung der langen Linien tritt dann höchst überraschend hervor.

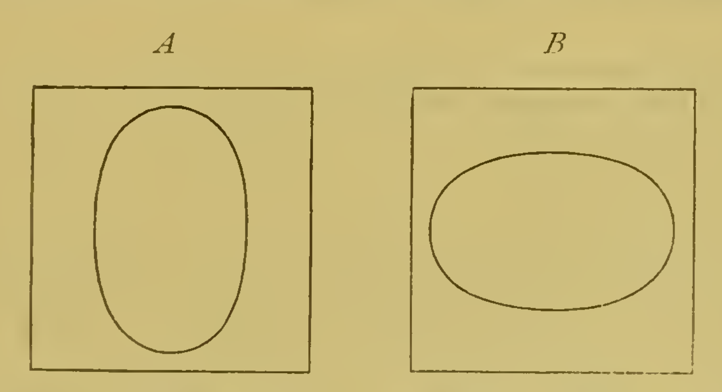


Fig. 284. Streckentäuschungen durch die Wirkung eingezeichneter Figuren.

Oder bei den MÜLLER-LYERschen Figuren entwirft man zuerst nur die beiden Geraden, und läßt dann die schrägen Ansatzstücke plötzlich hinzutreten, hierauf vertauscht man die letzteren, wobei nun die abwechselnden scheinbaren Verlängerungen und Verkürzungen der beiden Geraden ein ergötzliches Schauspiel bieten.

Die Fig. 283 zeigt zunächst einige beachtenswerte Modifikationen der MÜLLER-LYERschen Täuschung (Fig. 273, S. 583). Diese vermindert sich, wie man sieht, aber sie hört keineswegs ganz auf, wenn die Gerade nicht selbst in die vorwärts oder rückwärts gekehrten Endlinien übergeht, sondern sie dauert

fort, so lange diese nur hinreichend benachbart sind, um eine gewisse Wirkung auf die Blickbewegung ausüben zu können[1]. Übrigens kann die Täuschung *B* auch als Assimilationswirkung, analog der in Fig. 281 dargestellten, gedeutet oder es kann mindestens die Mitwirkung einer solchen angenommen werden. Den nämlichen Einfluß benachbarter Objekte zeigt auch die Fig. 284. Von den zwei einander gleichen Quadraten erscheint das mit der eingezeichneten vertikalen Ellipse in die Höhe gezogen, das mit der quergestellten, im Konflikt mit der konstanten Überschätzung der vertikalen Dimension, verbreitert. Wie hier durch die eingezeichneten Ellipsen, so wird in Fig. 285 durch die Einteilung der Flächenräume eines Quadrates die Überschätzung der Vertikaldimension in *A* gesteigert, in *B* vermindert oder aufgehoben[2]. Eine schräge Linie *a b*, die man durch *B* zieht, erscheint an der Ein- und Austrittsstelle etwas

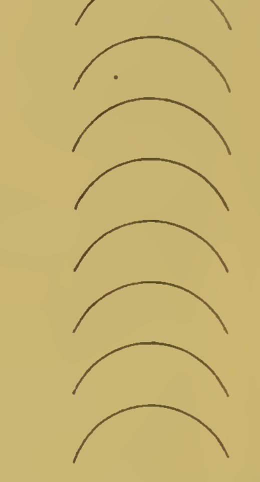


Fig. 286. Perspektivische Kreistäuschung.

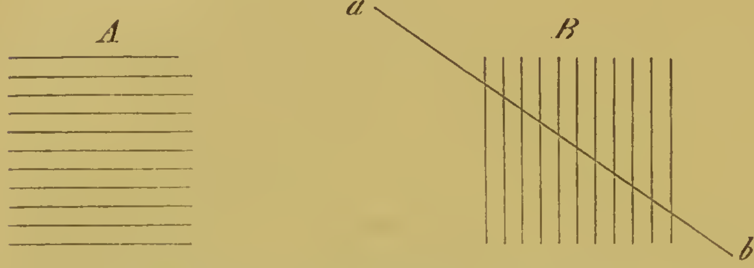


Fig. 285. Steigerung und Aufhebung der konstanten Streckentäuschungen durch Einteilung der Figuren.

geknickt, indem wegen der Verbreiterung die schräge Richtung der Geraden innerhalb der Figur vermindert erscheinen muß.

Ähnlich können die Motive der Winkeltäuschungen, wie sie in einfach-

---

[1] Hieraus geht hervor, daß die MÜLLER-LYERsche Täuschung nicht, wie F. BRENTANO (Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 3, S. 349 ff.) meinte, aus den oben (S. 584) erörterten Winkeltäuschungen abgeleitet werden kann. Eine Diskussion über denselben Gegenstand zwischen LIPPS und BRENTANO vgl. ebend. Bd. 3. S. 498, und Bd. 5, S. 61 ff. Verschiedene, die Hypothese BRENTANOs widerlegende Beispiele teilt auch DELBOEUF mit (Bulletin de l'Acad. roy. de Belgique, 3. sér. t. 24, no. 12, 1892).

[2] Eine analoge durch den Einfluß der Umgebung erzeugte Täuschung ist auch die folgende: Die Buchstaben dieser Anmerkung scheinen größer zu sein als die der vorigen. Gleichwohl sind absichtlich beide mit den nämlichen Typen gedruckt und unterscheiden sich nur dadurch, daß die Zwischenräume der Zeilen hier größer sind als dort. Indem also das Auge die gleiche Anzahl Buchstaben auf kürzerem Wege überfliegt, erscheinen ihm auch die einzelnen kleiner. Nimmt man statt der Quadrate in Fig. 284 Kreise als umschließende Figuren, so kehrt sich übrigens die Täuschung um: der Kreis mit der vertikal gestellten Ellipse erscheint nun in horizontaler, der mit der horizontal gestellten in vertikaler Richtung verlängert. Dies beruht darauf, daß in diesem Fall an den Stellen, wo Kreis und Ellipse divergierende Linien bilden, die Divergenz vergrößert erscheint, entsprechend der Vergrößerung spitzer Winkel.

ster Form die Fig. 274 in zusammengesetzter Fig. 275 zeigt, in mannigfachster Weise wiederkehren. In Fig. 286 treten diese Motive gewissermaßen latent auf. Die übereinander beschriebenen, einander objektiv gleichenden Kreisbogen erscheinen nicht ganz gleich, sondern die unteren kleiner als die oberen. Zugleich ist man geneigt die Figur im entsprechenden Sinne perspektivisch zu sehen, indem die oberen Bogen vom Beschauer weiter entfernt scheinen als die unteren. Die Täuschung hängt damit zusammen, daß die Endpunkte der Bogen auf jeder Seite derart in einer vertikalen geraden Linie liegen, daß, wenn man sich beide Gerade gezogen denkt, dieselben zueinander parallel sind. Dabei bilden nun aber die Bogen beiderseits mit ihrer Konvexität spitze Winkel mit diesen Richtungslinien: infolgedessen erscheinen die letzteren nach Maßgabe der in Fig. 274 dargestellten Täuschungen nach oben divergierend, was die scheinbare Vergrößerung der oberen Bogen und damit die perspektivische Nebenvorstellung hervorbringt. Von hier ausgehend ergibt sich nun auch die Interpretation der in Fig. 287 dargestellten Täuschung. Die beiden übereinander gezeichneten Trapeze sind objektiv gleich, erscheinen

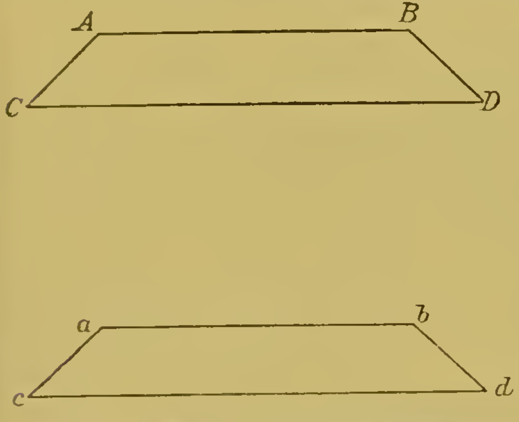


Fig. 287. MÜLLER-LYERS Trapezfiguren.

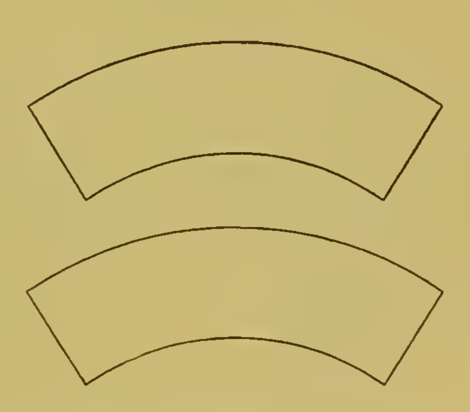


Fig. 288. Die Trapeztäuschung übertragen auf Kreissegmente.

aber ungleich, das obere größer als das untere, und dementsprechend erscheint, namentlich bei starrer monokularer Fixation, das untere näher als das obere. Man sieht sofort, daß hier die übereinander liegenden Punkte *A* und *a*, *C* und *c* usw. als zugehörig zu Richtlinien aufgefaßt werden, die, ähnlich wie in Fig. 286, die Endpunkte der Linien verbinden, also wegen der spitzen Winkel, welche die schrägen Linien *A C* und *a c*, *B D* und *b d* mit ihnen bilden, nach oben divergierend erscheinen. Die Täuschung wird noch viel bedeutender, wenn man, wie in Fig. 288, statt der Trapeze Kreissegmente von kongruenter Form wählt. Wahrscheinlich wird sie hierbei durch ein Assimilationsmotiv verstärkt, indem man geneigt ist, beide Segmente als zugehörig zu einem einzigen Kreis aufzufassen, wo dann das obere Segment einem sehr viel kleineren Sektor dieses Kreises entsprechen würde als das untere.

In Konkurrenz mit der Überschätzung geteilter Größen wirkt ferner das Winkelmotiv bei der Teilung von Winkeln. So hält man von den zwei rechten Winkeln in Fig. 289 den eingeteilten für größer als den nicht eingeteilten;

auch erscheint die Horizontallinie in ihrer Mitte etwas geknickt, so als wenn beide Winkel zusammen größer als 180° wären. Eine interessante Kombination verschiedener Täuschungsmotive bietet endlich die POGGENDORFFsche Figur in ihren verschiedenen Modifikationen, deren eine wir bereits oben (Fig. 278, S. 588) kennen lernten. Die Fig. 290 *A* zeigt sie in ihrer ursprünglichen Gestalt. Man hält nicht *b*, sondern *c* für die Fortsetzung von *a*, obgleich *b* die wirkliche Fortsetzung und *c* parallel nach oben verschoben ist. In ähnlicher Weise scheinen in *B* die drei Stücke der Geraden *a b* Bruchstücke verschiedener, einander paralleler Linien zu sein. Da uns in beiden Fällen in vertikaler Richtung Fixationslinien geboten sind, während in horizontaler solche fehlen, so schätzen wir die vertikale Dimension zu groß, eine Täuschung, die durch die regelmäßige Überschätzung der Höhendistanzen noch verstärkt wird. Sie vermindert sich daher bedeutend, wenn man die Figur um 90° dreht. Sie verschwindet aber auch dann nicht ganz. Der jetzt

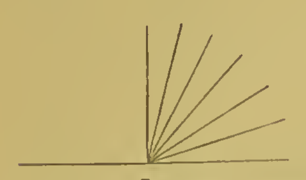


Fig. 289. Überschätzung eingeteilter Winkel.

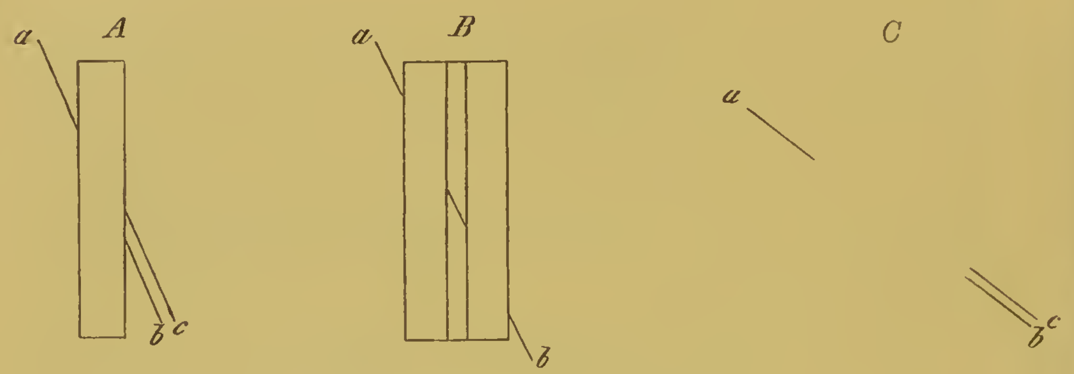


Fig. 290. POGGENDORFFsche Figuren.

übrigbleibende Teil derselben erklärt sich teils aus dem zurückbleibenden Einfluß der Fixationslinien, teils aus der Überschätzung spitzer Winkel, welches letztere Motiv bei der in Fig. 278 gezeichneten Modifikation allein zurück-

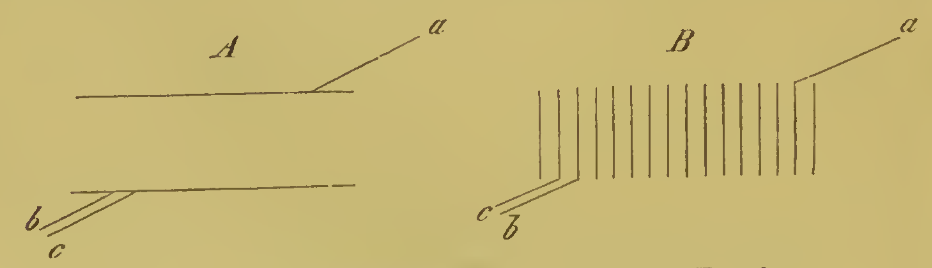


Fig. 291. Umkehrung der POGGENDORFFschen Täuschung.

geblieben ist. Daß die konstante Überschätzung der vertikalen Dimension mitwirkt, zeigt außerdem die Fig. *C*. Hier sind *a* und *b* zwei Bruchstücke einer schräg gezogenen geraden Linie. Diese erscheinen aber im nämlichen

Sinne, nur unbedeutender, gegeneinander verschoben wie im vorigen Fall, und eine etwas höher liegende Gerade *c* ist die scheinbare Fortsetzung von *a*. Eine Umkehrung der Täuschung durch Aufhebung dieses Motivs zeigt endlich die Fig. 291. Hier sind die Flächenräume *A* und *B* einander gleich, aber in *A* ist der Raum von zwei Horizontallinien begrenzt, in *B* von einer Menge einander paralleler Vertikallinien ausgefüllt. In *A* sieht man die gewöhnliche

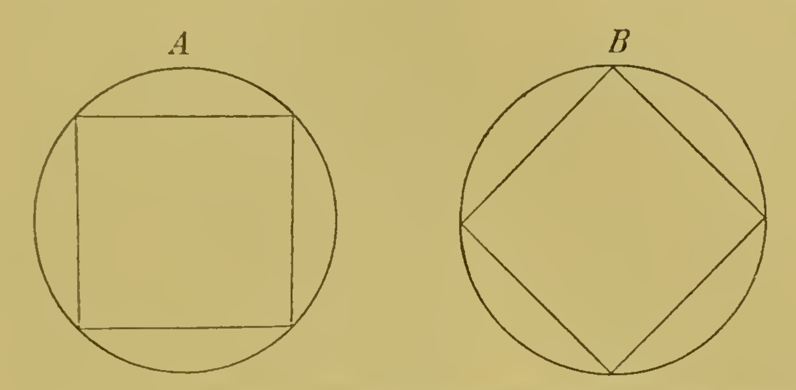


Fig. 292. Täuschungen durch eingezeichnete Quadrate im Kreise.

Form der Täuschung: die Fortsetzung *b* der Linie *a* erscheint nach *c* verschoben; in *B* liegt *c* auf der entgegengesetzten Seite: hier ist also durch die Verbreiterung der Figur, die durch die parallelen Vertikallinien eintritt, die scheinbare Fortsetzung von der wirklichen in horizontaler statt in vertikaler Richtung entfernt worden.

Fig. 293. Mellinghoffsche Täuschung.

Daß, wie Burmester[1] bemerkt, die Größe der Poggendorffschen Täuschung mit der Entfernung der Parallelen voneinander zu- und mit der Größe der Transversalen abnimmt, erklärt sich schließlich teils aus den mit der ersteren Bedingung wachsenden Überschätzungsmotiven der vertikalen gegenüber der horizontalen Distanz, teils aber auch daraus, daß das Motiv der ausgleichenden Perspektive mit der Verlängerung der Transversale stark zunimmt, wie man z. B. bei der Vergleichung von Fig. 290 mit Fig. 278 (S. 588) deutlich sehen kann. Sehr deutlich zeigt sich auch die Wirkung vereinigter Motive von Strecken- und Winkeltäuschungen in Fig. 292 *A* und *B*. Da man in *A* die spitzen Winkel, welche die Seiten des eingeschriebenen Quadrats mit den Kreisbogen bilden, zu groß sieht, so erscheint jeder der vier Kreisbogen stärker gekrümmt, so als ob er einem Kreis von kleinerem Halbmesser angehörte, und die Seiten des Quadrats scheinen ein wenig nach einwärts gebogen. In *B*, wo die Überschätzung der Vertikaldimension durch die entgegengesetzte

Fig. 294. Täuschung über den Abstand von Parallelen.

[1] Burmester, Zeitschr. für Psychologie, Bd. 12, 1896, S. 355.

Lage des Quadrats gesteigert wird (S. 592), verstärkt sich die Täuschung, so daß man den Kreis kaum mehr als Kreis, sondern als ein an den Enden der Durchmesser etwas abgeplattetes Oval sieht.

Schließlich sei hier noch einiger Täuschungen gedacht, bei denen, ähnlich wie bei den Kreissegmenten der Fig. 286, wahrscheinlich variable, in den Blickbewegungen begründete mit assoziativen Einflüssen zusammenwirken. In Fig. 293 sind nahe übereinander zwei Parallellinien gezogen, mit einer freigelassenen mittleren Strecke, in welcher in der Richtung der unteren Parallelen einige Punkte angebracht sind. Diese Punkte erscheinen nach oben verschoben, als gehörten sie einer dritten, zwischen beiden gelegenen Parallelen an. Einerseits mag hier die Blickbewegung beim Zurücklegen des durch die Punkte vorgezeichneten Weges gleichzeitig durch die obere und untere Gerade attrahiert werden und so die Lage der Punkte mit der mittleren Blickrichtung in Einklang bringen. Außerdem kann man aber auch eine assoziative Ausgleichung, analog der in Fig. 281 dargestellten, vermuten. Eine andere, gleichzeitig wohl auf Blickbewegung und Assoziation hinweisende Täuschung zeigt die Fig. 294. Obgleich die Distanz zwischen den oberen und den unteren Parallellinien die gleiche ist, so ist man doch geneigt, die Höhendistanz der kürzeren Linien für größer zu halten als die der längeren. Hier wird durch die ausgedehntere Blickbewegung wahrscheinlich eine relative Überschätzung der Breite- gegenüber der Höhendimension bei der unteren Figur unterstützt. Daneben wirkt aber wohl ein assoziativer Kontrast ein, analog dem in Fig. 282 dargestellten, indem in dem Maße, als die Breite der oberen Linien im Kontrast zu den unteren unterschätzt wird, um so mehr ihre Höhendistanz relativ zu groß erscheint. Ein auffallendes Beispiel ähnlicher Art bietet endlich noch die Fig. 295, wo in *A* der innere Kreis größer erscheint, als der ihm gleiche isolierte Kreis *C*, der äußere dagegen kleiner als der gleiche Kreis *B*. Auch hier darf man annehmen, daß durch die Bewegung des Blicks in der Richtung der einander parallelen Kreisperipherien die Distanz der konzentrischen Kreise in *A* unterschätzt wird. Indem dadurch beide einander genähert werden, verkleinert sich der äußere und vergrößert sich der innere Kreis. Daneben erscheint aber wahrscheinlich wiederum durch einen dem in Fig. 282 darge-

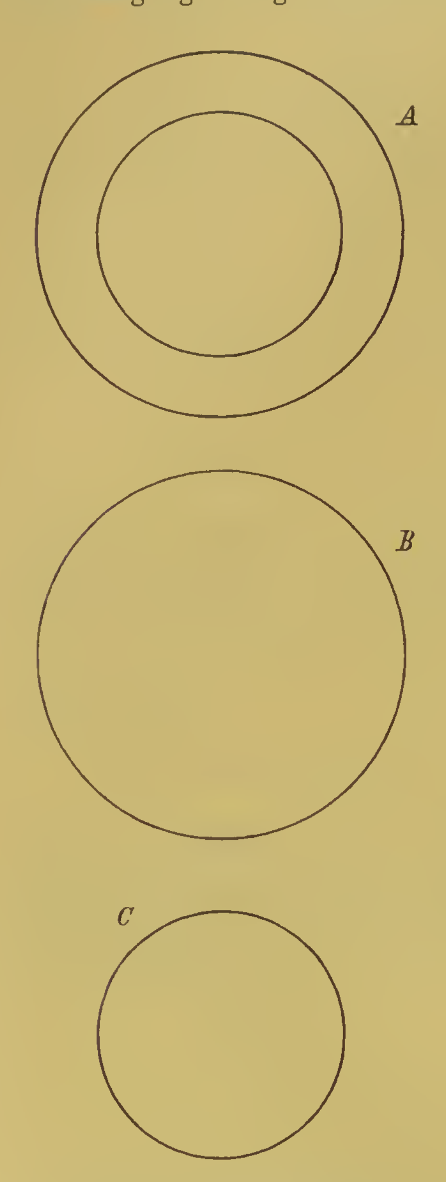


Fig. 295. Kreistäuschungen.

stellten ähnlichen Kontrast der Durchmesser des inneren Kreises im Verhältnis zum geradlinigen Abstand der beiden Kreisperipherien größer. Die nämliche Täuschung beobachtet man bei allen in ähnlicher Weise gezeichneten konzentrischen Figuren, z. B. Dreiecken, Quadraten usw. Bringt man aber im Mittelpunkt einer solchen konzentrischen Figur, z. B. der Kreise in *A* (Fig. 295), eine Marke an, die einen gewissen Zwang zur Fixation ausübt (einen deutlich sichtbaren schwarzen Punkt oder einen Buchstaben, ein Fragezeichen u. dgl.), so verschwindet die Täuschung. Begreiflicherweise kann es gerade in solchen Fällen, wo man es mit Täuschungen zu tun hat, die aus Assoziations- und andern Motiven gemischt sind, sehr schwer fallen, zu entscheiden, was dem einen oder andern Einflusse zuzurechnen sei, da hier nicht, wie bei dem Ineinandergreifen mehr übereinstimmender Ursachen, wie z. B. bei der POGGENDORFFschen Täuschung, die einzelnen Faktoren bis zu einem gewissen Grade isoliert werden können. Im allgemeinen wird man aber wohl auch hier daran festhalten dürfen, daß eine Vermischung mannigfaltiger Bedingungen bei diesen doch schon relativ komplexen Erscheinungen wahrscheinlicher ist als eine einfache Entstehungsweise, und daß, wo in andern Fällen ohne Komplikation der Bedingungen eine bestimmte Ursache mit Sicherheit nachzuweisen ist, diese auch da vorausgesetzt werden darf, wo sie aus ihrem Zusammenwirken mit andern Bedingungen nicht isoliert werden kann.

So wenig nach allem dem noch ein Zweifel darüber bestehen dürfte, daß die unter dem Namen der »geometrisch-optischen Täuschungen« bekannten Abweichungen des Augenmaßes schließlich auf einige Grundtypen zurückzuführen sind, in denen, wie oben ausgeführt, die drei Faktoren des optischen, des motorischen und des assimilativen Einflusses in verschiedener Mischung wiederkehren, so weit entfernen sich doch vielfach noch immer die Interpretationen dieser Täuschungen. Zuweilen wird der vage Begriff der »Urteilstäuschung«, ähnlich wie er bei den Licht- und Farbenkontrasten eine Rolle spielt (S. 264f.), so auch hier herangezogen, wobei dann meist die Reflexionen und Urteile, die die Täuschungen zustande bringen sollen, von Fall zu Fall wechseln, durchweg aber von sehr verwickelter Beschaffenheit sind, weshalb man sie wohl auch den »unbewußten Urteilen« zurechnet. Noch andere Beobachter haben wenigstens für einzelne Täuschungen dioptrische Anomalien, den Einfluß der Netzhautkrümmung, des indirekten Sehens, der Zerstreuungskreise usw. usw. ins Feld geführt, oder es wurden auch, in Umkehrung des, wie oben nachgewiesen, tatsächlich bestehenden Kausalverhältnisses, alle diese Täuschungen als Wirkungen perspektivischer Vorstellungen gedeutet, die durch das willkürliche Spiel der Phantasie, durch unsere Gewohnheit an das Sehen körperlicher Dinge u. dgl. entstehen sollen. Es scheint mir überflüssig, auf eine Kritik dieser mannigfachen Hypothesen noch näher einzugehen[1].

[1] Als Arbeiten, die teils einzelne bemerkenswerte Täuschungen erörtert, teils aber auch in dem oben angedeuteten Sinne zusammenfassende Erklärungsversuche unternommen haben, seien hier, außer den schon gelegentlich angeführten, noch erwähnt: MÜLLER-LYER, Archiv für Physiologie, Suppl. 1899, S. 265. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 9, 1895, S. 4. Bd. 10, 1896, S. 421. HEYMANS, ebend. Bd. 9, S. 236. THIÉRY, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 307, 603. Bd. 12, 1896, S. 67. WUNDT, Die geometrisch-optischen Täuschungen. Abhandl. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 24, Nr. II, 1898.

Nur einer dieser Theorien sei hier noch gedacht, die, statt, wie es oben geschehen, von den objektiv nachweisbaren Faktoren der Raumauffassung aus, gewissermaßen umgekehrt von den subjektiven Gefühlswirkungen der Raumformen aus, diese selbst zu deuten sucht: der »mechanisch-ästhetischen Theorie« von Th. Lipps, die vielleicht besser schlechthin »ästhetische« Theorie genannt werden sollte[1]. Sie geht von der Voraussetzung aus, daß ein Wahrnehmungsbild niemals mit einem andern direkten Wahrnehmungsbild, sondern immer nur mit einem reproduzierten verglichen werde. Infolgedessen trage unsere Phantasie ihre eigene Tätigkeit in die Raumformen hinein: sie sehe in ihnen mechanische Tätigkeiten und Kräfte. Hierin liege aber die Nötigung, geometrische Gebilde so zu deuten, daß sie diesem Bedürfnis genügen. Die optischen Täuschungen sollen daher entstehen indem wir die Vorstellungen der Tendenzen oder Tätigkeiten, die uns in räumlichen Formen zu liegen scheinen, unmittelbar und unbewußt sich verwirklichen lassen. Die Form, in der eine »Tendenz zur Ausweitung« liegt, lassen wir in der Vorstellung sich ausdehnen; diejenige, deren Tätigkeit auf Verengerung ihrer selbst gerichtet scheint, lassen wir sich verengern. Da nun an sich in jeder Raumform die Möglichkeit einer Ausdehnung wie einer Verengerung liegt, so begegnen sich in ihr stets Tendenz und Gegentendenz. Jene ist aber die primäre, diese die sekundäre: sie kann selbständig erst zur Wirkung gelangen, wenn sie über den Ort hinaus wirkt, an dem wir der primären unterworfen sind. So überwiegt an einem nicht begrenzten Raumstück die primäre Tendenz der Ausdehnung, an einem begrenzten die von dem umgebenden Raum ausgehende Tendenz der Hemmung: darum werden begrenzte gegen unbegrenzte Raumgrößen unterschätzt. So erscheint das Obensein als ein Sichheben, das Untensein als ein Hinabsinken; bei der Höhenausdehnung ist daher die Gegentätigkeit gegen die Schwere, bei der Breitenausdehnung die Schwere selbst das Ursprünglichere: darum erscheint eine vertikale Ausdehnung größer als eine gleich große horizontale. Wenn eine gegebene Richtung sich ändert, so begegnen sich eine Tendenz der Änderung der Richtung und eine andere des Fortbestandes derselben. Da hier die erstere die primäre ist, so besteht eine Nötigung zur Überschätzung der Richtungsunterschiede usw. Diese Theorie macht immerhin der in ihrer gewöhnlichen Form bloß mit willkürlichen oder zufälligen Einbildungsvorstellungen operierenden Phantasietheorie gegenüber den Versuch einer Art psychologischer Begründung. Auch ist es im allgemeinen zutreffend,

---

Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 27 ff. Filehne, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 17, 1898, S. 15. Witasek, ebend. Bd. 19, 1899, S. 1 ff. Zehender, ebend. Bd. 20, 1899, S. 65. Einthoven, Pflügers Archiv, Bd. 71, 1898, S. 1. Schumann, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 23, 1900, S. 1 ff. Stratton, Psychol. Rev. vol. 3, 1896, p. 611. vol. 4, 1897, p. 342. vol. 5, 1898, p. 632. Láska, Arch. für Physiol. 1890, S. 326. Loeb, Pflügers Archiv, Bd. 60, 1895, S. 244. Pearce, Psych. Rev. vol. 5, 1898, p. 233. Einthoven, Pflügers Archiv, Bd. 71, 1898, S. 1 ff. Benussi, Zur Psychologie des Gestalterfassens, Meinongs Untersuchungen, 1904, S. 303. Ch. H. Judd, ebend. vol. 5, 1898, p. 286, 388. vol. 9, 1902, p. 27. Jastrow, ebend. vol. 7, 1900, p. 47. J. M. Cattell, ebend. vol. 7, p. 325. Seashore and Williams, Psychol. Rev. vol. 7, p. 592. University of Iowa, Studies in Psych. vol. 3, 1902, p. 38. Burmester, Zeitschr. für Psychol. Bd. 12, 1896, S. 355. Bd. 41, 1906, S. 321.

[1] Th. Lipps, Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen. 1897. Vgl. außerdem die Aufsätze desselben Verf.s in Zeitschrift für Psychologie, Bd. 12, S. 39, und Bd. 18, S. 405. Bd. 38, S. 241.

daß unsere Phantasie die Objekte belebt, indem wir unser eigenes Fühlen und Streben in sie hineintragen: abgesehen von aller Ästhetik beweisen das die animistischen Vorstellungen, die wir als Erzeugnisse der Volksphantasie kennen. Viele der Ausführungen von LIPPS über die ästhetischen Wirkungen einfacher Raumgestalten sind daher gewiß fein empfundene Schilderungen ästhetischer Wirkungen, wenngleich auch hier nirgends eine Nötigung vorliegen dürfte, diese Wirkungen auf »unbewußte« Vorgänge zurückzuführen, da sie vielmehr erst dadurch ihre Bedeutung gewinnen, daß sowohl die Wirkungen wie die Motive bewußt sind, wenn sie auch zum Teil nur als dunkel perzipierte Bewußtseinsinhalte existieren. Aber so sehr ich das psychologisch-ästhetische Verdienst dieser Analyse anerkenne, eine Erklärung der geometrisch-optischen Täuschungen kann ich in ihr nicht sehen. Vielmehr glaube ich, daß sich in bezug auf diese die ästhetische Theorie, ähnlich wie die perspektivische, einer Umkehrung der kausalen Beziehung schuldig macht, indem sie die, wie oben nachgewiesen, durch bestimmte psychophysische Motive bedingten Strecken- und Richtungstäuschungen, die in Wahrheit erst gewisse ästhetische Wirkungen hervorbringen oder verstärken, zu Ursachen dieser Täuschungen erhebt. Jenen elementaren psychophysischen Bedingungen der Raumwahrnehmung gegenüber ist aber die ästhetische Wirkung der räumlichen Objekte, auf so elementarer Stufe sie in ästhetischer Beziehung stehen mag, immerhin schon eine höhere psychische Stufe: sie ist Wirkung, nicht Ursache. Angesichts der engen Verkettung der Motive, die überall auf psychischem Gebiete stattfinden, mögen ja die ästhetischen Gefühlsassoziationen, die sich an die räumlichen Eindrücke anschließen, nun ihrerseits wieder die rein räumliche Wirkung steigern können. Dies würden dann aber in analogem Sinne Folgewirkungen der primären räumlichen Vorstellungen sein, wie nach einer andern Seite hin die perspektivischen Nebenvorstellungen, nur daß sich das bei diesen mit voller Evidenz nachweisen läßt, während es bei jenen nicht der Fall ist.

d. Gesichtstäuschungen bei Augenmuskellähmungen.

Mit den konstanten Strecken- und Richtungstäuschungen, denen das Sehorgan infolge der den optischen Asymmetrien analogen asymmetrischen Verteilung der Muskelkräfte unterworfen ist, haben diejenigen Gesichtstäuschungen eine große Ähnlichkeit, die infolge pathologischer Störungen der Augenmuskelwirkungen beobachtet werden. Auch sie sind in dem Sinne konstant, daß sie weder eine Veränderung durch Variation bestimmter objektiver Bedingungen noch eine Ausgleichung durch kompensierende perspektivische Nebenvorstellungen zulassen[1]. Da diese Abweichungen des Sehens wegen ihrer engen Beziehungen zu dem Problem des sogenannten »Muskelsinnes« früher (Kap. X, S. 30 ff.) speziell an dem

[1] Vgl. die systematische Schilderung der einzelnen Formen und ihrer Symptome bei A. GRAEFE, in GRAEFE-SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde[2], Bd. 8, II, S. 17 ff. Ferner M. SACHS, Arch. für Ophthalmol. Bd. 43, 1897, S. 597 ff. BIELSCHOWSKY, ebend. Bd. 46, 1898, S. 143 und Bd. 50, S. 406. F. B. HOFMANN, Ergebnisse der Physiol. I, 1903, S. 802 ff. Vgl. dazu oben S. 32.

für die kausale Analyse lehrreichsten Fall der Parese des äußeren geraden Augenmuskels erörtert wurden, so kann es hier genügen, daran zu erinnern, daß sich die Symptome der Abduzenslähmung geradezu als ein Experimentum crucis für die Existenz von Empfindungen erwiesen, die unmittelbar an die Aktion der Muskeln geknüpft sind (vgl. Fig. 164, S. 33). Dies ist aber zugleich der Punkt, wo die pathologische Beobachtung die bei den geometrisch-optischen Täuschungen gemachten Erfahrungen ergänzt. Mochten nämlich auch diese Täuschungen zweifellos das »Bewegungsbild« des Auges in dem oben angeführten Sinne als einen neben dem Netzhautbilde gleich wichtigen Faktor erweisen, so lassen sie doch unbestimmt, *wie* dieser Faktor seinen Einfluß geltend macht. Auf Grund jener Täuschungen könnte man vielleicht ebenso gut an ein unmittelbar existierendes Bewußtsein der Bewegung, wie an eine sie begleitende Empfindung denken, wenn auch allerdings in Anbetracht der großen Ähnlichkeit der Augen- mit den Gelenkbewegungen, deren äußerst fein abgestufte Empfindungen durch GOLDSCHEIDERs bekannte Versuche nachgewiesen sind[1], die zweite dieser Möglichkeiten von vornherein die sehr viel wahrscheinlichere ist. Immerhin, wenn noch der Schatten eines Zweifels bleiben und jemand geneigt sein sollte, in diesem Fall dem Auge eine Art Ausnahmestellung zuzuweisen, so würde dieser Zweifel gegenüber den bei der Parese der Augenmuskeln bestehenden Symptomen schwinden müssen. Denn diese Symptome lassen, wie wir sahen, überhaupt nur eine doppelte Deutung zu: *entweder* besitzen wir in bestimmten, die Bewegung begleitenden Empfindungen ein Maß für den Umfang derselben, welches dann wieder auf die Auffassung der durchmessenen räumlichen Distanz einwirkt; *oder* es gibt irgendeinen reinen, ohne sinnlich empfindbares Substrat vor sich gehenden Akt des »Willens«, der »Aufmerksamkeit«, der »Einbildungskraft«, der den Ort bestimmt, wo wir ein Ding sehen. Nun ist vom Standpunkt der psychologischen Erfahrung aus die letztere Annahme unmöglich, weil es eine abstrakte Willens- oder Einbildungskraft überhaupt nicht gibt, sondern weil alles das, was man mit diesen Namen bezeichnet, in konkreten, d. h. in irgendwelche Empfindungen und Gefühle zu zerlegenden Vorgängen besteht. Für uns bleibt demnach, da in jenen pathologischen Fällen nicht absolut neue Einflüsse angenommen werden können, die nicht in den Funktionen des normalen Auges bereits vorgebildet wären, als unabweisbares Ergebnis, daß auch die normalen Täuschungen des Augenmaßes, insofern sie durchgängig auf Bewegungsmotive zurückführen, nur in *Empfindungen* begründet sein können, welche die Augenbewegun-

[1] Vgl. Bd. 1, S. 673.

gen begleiten, und in ihren Gradabstufungen ein Maß dieser Bewegungen enthalten.

4. Wahrnehmung bewegter Objekte.

a. Relativität der Bewegungsvorstellung. Scheinbewegungen.

Im Vorangegangenen haben wir die Einflüsse kennen gelernt, welche die Bewegung des Auges auf die Lagebestimmung und Ausmessung der Gegenstände ausübt, wenn diese unbewegt bleiben. Demgegenüber treten nun wesentlich neue Bedingungen für die Bildung der Vorstellungen ein, wenn die Gegenstände selbst sich bewegen. Auch das Auge bleibt dann in der Regel nicht ruhend, sondern es bewegt sich in gleichem Sinne, indem es die Gegenstände fixierend verfolgt. Dies kann willkürlich, es kann aber auch reflexartig geschehen, dadurch, daß infolge der zwischen Lichteindrücken und Augenbewegungen bestehenden Innervationsverbindungen die Blicklinie von irgendeinem dominierenden Punkt des Sehfeldes, der sich bewegt, festgehalten wird. Wandern nun Auge und gesehenes Objekt gleichzeitig, so ist eine richtige Auffassung der äußeren Bewegung nur möglich, wenn sich die Augenbewegungen in deutlich bewußten und unmittelbar auf sie selbst in ihrer wirklichen Geschwindigkeit bezogenen Empfindungen geltend machen. Im entgegengesetzten Fall treten Täuschungen ein. Am häufigsten sind dieselben bei passiven Bewegungen des Körpers. Hier wird mit dem ganzen Körper auch das Auge bewegt; aber da uns keine Muskelanstrengung von dieser Bewegung Kunde gibt, so beziehen wir leicht die Verschiebung der Netzhautbilder auf eine Bewegung der äußeren Gegenstände. Diese Täuschung tritt hauptsächlich dann ein, wenn die Geschwindigkeit der passiven Bewegung diejenige unserer gewohnten eigenen Ortsbewegungen erheblich übertrifft. Bei rascher Wagen- oder Eisenbahnfahrt zeigt sich deshalb die Scheinbewegung am stärksten an nahe gelegenen Gegenständen, während wir weiter entfernte als ruhend auffassen. In der Regel teilt sich hierbei die Bewegungsvorstellung zwischen dem ruhenden und dem bewegten Objekte. So stellen wir bei rascher Fahrt uns selbst mäßig bewegt vor, während wir den äußern Gegenständen eine entgegengesetzte Bewegung geben. Sitzt man am Strand der See auf einem Stuhl, der von den Wogen umspült wird, so glaubt man, wenn die Welle gegen den Strand dringt, gleichzeitig selber nach der hohen See hin bewegt zu werden. Sobald dagegen die Welle zurückgeht, glaubt man umgekehrt nach dem Strande zurückzufahren.

Alle diese Scheinbewegungen beruhen auf der Relativität der Be-

wegungsvorstellungen. Wir fassen einen Gegenstand als ruhend auf, wenn er sein Lageverhältnis zu uns selbst nicht wechselt. Wenn nun zwei Gegenstände ihre gegenseitige Lage im Raume ändern, so erscheint uns derjenige bewegt, dessen Netzhautbild sich verschiebt, oder zu dessen Fixation wir der verfolgenden Augenbewegung bedürfen. Die Vorstellung bleibt daher in der Regel solange im Einklang mit den wirklichen Dingen, als von zwei oder mehreren gleichzeitig gesehenen Objekten nur das eine sein Lageverhältnis zu uns ändert, die andern ruhend bleiben. Immerhin sind auch hier Täuschungen möglich, falls die Bewegung verhältnismäßig langsam geschieht, wo die verfolgende Blickbewegung unter der Schwelle der Empfindung bleiben kann. Wenn z. B. des Abends Wolken am Monde vorüberziehen, so können wir diese Bewegungen auf den Mond übertragen, der uns nun in entgegengesetzter Richtung zu wandern scheint, während die Wolken stille stehen. Bei dieser Täuschung wirkt der Umstand mit, daß wir kleinere Gesichtsobjekte leichter für bewegt halten als größere, was sich wohl daraus erklärt, daß in der weit überwiegenden Mehrzahl der Fälle die bewegten Objekte kleiner sind als ihre relativ ruhende Umgebung, was nun wieder assimilativ auf die neue Bewegungsvorstellung einwirkt. Viel leichter noch treten derartige Täuschungen ein, wenn beide gegeneinander bewegte Objekte ihre relative Lage zu uns ändern. So wird die vorige Erscheinung lebhafter, wenn wir uns selber bewegen. Am schwankendsten ist aber auch hier die Vorstellung, wenn wir selbst passiv bewegt sind. So übertragen wir, im Eisenbahnzuge sitzend, in der Regel unsere eigene Bewegung auf die eines andern ruhig danebenstehenden Zuges; wir können aber auch umgekehrt selber zu fahren glauben, während wir in Wirklichkeit stille sitzen und der nebenstehende Zug in entgegengesetzter Richtung vorbeifährt, und unter günstigen Bedingungen kann man nach Willkür zwischen beiden Vorstellungen wechseln[1].

Wie wir so bei zwei äußern Objekten die wirkliche Bewegung des einen gelegentlich in eine entgegengesetzte Scheinbewegung des andern umwandeln, so kann nun aber die nämliche Umkehrung ganz oder teilweise auch dann geschehen, wenn unser eigener Körper eines der beiden sich gegeneinander verschiebenden Objekte ist. Unterstützt wird in diesem Falle die Täuschung gewöhnlich noch dadurch, daß wir unsere Augenbewegungen unterschätzen. Was wir an der wirklichen Augenbewegung ignorieren, das wird dann als eine Bewegung der Objekte in entgegengesetztem Sinne vorgestellt. Selbst bei der Fixation ruhender

---

[1] Viele andere Beispiele dieser Art finden sich beschrieben bei HOPPE, Die Scheinbewegung. 1879, S. 173 ff.

Gegenstände können derartige Täuschungen eintreten. Je länger wir uns anstrengen ein Objekt zu fixieren, um so weniger gelingt es das Auge in seiner Stellung festzuhalten, und die zitternden Bewegungen desselben können dann auf das Objekt übertragen werden[1]. Am meisten macht sich dies im Finstern geltend, wenn man einen mäßig bewegten leuchtenden Punkt mit dem Auge verfolgt. Sehr langsame Bewegungen werden dann gar nicht wahrgenommen, schnellere aber unterschätzt, während sofort deutlich die Vorstellung der Bewegung entsteht, sobald man einen gleichzeitig im Gesichtsfeld befindlichen ruhenden Punkt fixiert und also die Bewegung mittels der Verschiebung des Netzhautbildes auffaßt. Im letzteren Fall erscheint nach den übereinstimmenden Beobachtungen VON FLEISCHLs, AUBERTs und BOURDONs die Geschwindigkeit etwa noch einmal so schnell als bei der Verfolgung des bewegten Punktes selbst[2]. Offenbar beruht hierauf auch die viel leichtere Wahrnehmung der Bewegung im Tageslicht, wo ihr unterer Grenzwert etwa 2—3 Winkelminuten in der Sekunde beträgt, wogegen er im Finstern bei einem isoliert gesehenen Punkt 15—20′ erreicht, und bei der eines bewegten gegenüber einem ruhenden Punkt 8—10′ beträgt. Die auch dann bleibende Überlegenheit der Bewegung im Hellen erklärt sich daraus, daß in diesem Fall das bewegte Objekt im allgemeinen zahlreiche Orientierungspunkte in seiner Nähe findet. Im indirekten Sehen ist zwar die Bewegungsschwelle etwas größer, wie das schon der höhere Wert der räumlichen Unterschiedsschwelle mit sich führt; aber der Unterschied ist sehr gering, so daß, sobald einmal die Raumschwelle des ruhenden Auges überschritten ist, ein wesentlicher Unterschied in der Auffassung der Bewegung nicht zu bestehen scheint. Aus diesen Erfahrungen geht mit Wahrscheinlichkeit hervor, daß die bei der Bewegung eines Objektes stattfindende Translokation seines Bildes auf der Netzhaut einerseits und die fixierende Verfolgung des Objektes selbst durch das Auge anderseits, also Netzhautempfindungen und Bewegungsempfindungen in ihrem Zusammenwirken, die Wahrnehmung einer äußeren Bewegung vermitteln. Dabei ergibt sich die Beteiligung der Augenbewegung insbesondere auch

---

[1] Hierher gehört auch das Phänomen der sogenannten »flatternden Herzen«: Wenn man auf einem lebhaft farbigen Blatt kleine andersfarbige oder graue Figuren anbringt, und dann das Blatt hin und her bewegt, so scheinen die Figuren selbst sich gegen das Papier zu verschieben. Die Ursache der Erscheinung liegt wahrscheinlich darin, daß komplementäre Nachbilder der Farbe des Grundes entstehen, die, indem sie sich mit dem Auge bewegen, auf eine Bewegung der Objekte bezogen werden. Vgl. SZILI, Archiv für Physiologie, 1891, S. 157. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 3, S. 359 ff.

[2] VON FLEISCHL, Wiener Sitzungsber. 3. Abt. Bd. 86, S. 17. AUBERT, PFLÜGERS Archiv, Bd. 39, S. 347. Bd. 40, S. 459. BOURDON, La perception visuelle de l'espace, 1902, p. 178 ff. Ebenso stimmen die Beobachtungen von A. BASLER (PFLÜGERS Archiv, Bd. 115, 1906, S. 582 und Bd. 124, 1908, S. 313 ff.) im wesentlichen mit diesen Ergebnissen überein.

daraus, daß, wie BOURDON feststellte, bei einem jeden solchen Wahrnehmungsvorgang objektiv eine das bewegte Objekt verfolgende Blickbewegung nachweisbar ist[1]. Man wird sich daher das Ineinandergreifen beider Faktoren in der Weise vorstellen können, daß die retinale Bildbewegung zunächst die entsprechende Blickbewegung auslöst, die dann mit jener zur einheitlichen Vorstellung der Objektbewegung verschmilzt. Dabei bilden aber offenbar vor allem die Augenbewegungen nur ein sehr unsicheres Maß der Bewegungen äußerer Objekte. Dies könnte bei dem großen Einflusse, den wir der Bewegung auf die Ausmessung des Sehfeldes und auf die Auffassung der räumlichen Verhältnisse ruhender Objekte einräumen mußten, auffallend erscheinen. Gleichwohl stehen beide Tatsachen durchaus miteinander im Einklang. Denn gerade, weil die Augenbewegungen an der Ausmessung ruhender Objekte und ihrer Entfernungen beteiligt sind, werden wir sie im allgemeinen nicht auf eine Bewegung der Gegenstände selbst beziehen. Soll vielmehr das letztere geschehen, so müssen entweder relativ ruhende Orientierungspunkte gegeben sein, oder die objektive Bewegung muß eine hinreichende Geschwindigkeit besitzen, so daß sich die ihr folgende Blickbewegung deutlich von den gewöhnlichen Blickbewegungen bei der Betrachtung ruhender Objekte scheidet.

b. Stroboskopische Erscheinungen.

Neben den Augenbewegungen und der Orientierung an relativ ruhenden Objekten übt bei der Auffassung äußerer Bewegungen noch das Nachbild eine Wirkung aus. Um die Bewegung zwischen der Ausgangslage *a* und der Endlage *b* eines Gegenstandes als eine stetige aufzufassen, muß die Vorstellung entstehen, daß die zwischen *a* und *b* vorhandenen Raumlagen sämtlich durchlaufen worden seien. Erfolgt nun die Bewegung sehr schnell, so können die verschiedenen Phasen überhaupt zu keiner deutlichen Auffassung gelangen; aber auch wenn sie langsamer ist, können die neuen Eindrücke immer noch durch die Vermischung mit den Nachbildern der vorangegangenen gestört werden. Hieraus ergibt sich schon, daß die Wahrnehmung einer Bewegung an bestimmte Bedingungen der Intensität und Dauer der Reize, sowie der Geschwindigkeit ihres Wechsels geknüpft ist. Man überzeugt sich von dem Einfluß dieser Bedingungen am schlagendsten mittels der stroboskopischen Vorrichtungen. Sie bestehen in rotierenden Apparaten, die dem Auge die einzelnen Phasen eines Bewegungsvorganges darbieten, in deren Zwischenpausen

[1] BOURDON, a. a. O. p. 184.

das Auge unerregt bleibt. Bei dem bekanntesten dieser Apparate, dem als Kinderspielzeug verbreiteten Dädaleum von HORNER (auch Zootrop oder Wunderkreisel genannt), sieht man durch die in angemessenen Abständen angebrachten vertikalen Schlitze einer außen schwarz lackierten Blechtrommel auf einen an die Innenfläche der Trommel angelegten Papierstreifen, auf dem sich die Zeichnung der Bewegungsphasen befindet (Fig. 296). Wird nun die Trommel um ihre vertikale Achse gedreht, so verschieben sich ihre Fenster und die einzelnen Bewegungsphasen, die man an der gegenüberliegenden Innenwand des Zylinders betrachtet, in entgegengesetzter Richtung, und die Bewegungsphasen selbst setzen sich zu einer anscheinend kontinuierlichen Bewegung zusammen [1]. Eine solche erfolgt jedoch nur zwischen einer unteren und einer oberen Grenze der Geschwindigkeit. Jenseits dieser fließen die einzelnen Bilder ineinander; unterhalb jener bleiben sie durch leere Intervalle geschieden. Auf diese beiden Grenzwerte ist nun die Dauer des Nachbildes jedes einzelnen Eindrucks von Einfluß. Je länger man durch Verbreiterung der Spalten jedes einzelne Phasenbild auf das Auge einwirken läßt, um so langsamer kann die Bewegung erfolgen und gleichwohl noch den Eindruck eines stetigen Vorganges hervorbringen. Ebenso müssen die Bilder in um so kürzeren Zeitintervallen vor dem Auge erscheinen, je mehr Bilder nebeneinander dem Auge sichtbar sind. Die Bedingungen für die Entstehung einer stetigen Bewegungsvorstellung sind demnach dann am günstigsten, wenn das positive Nachbild der vorangegangenen Phase in dem Moment verschwindet, wo das neue Bild auftritt. Immerhin treten die Erscheinungen auch bei so rasch vergänglichen Eindrücken auf, daß offenbar noch über die Dauer des positiven Nachbildes hinaus die Verbindung zu einer kontinuierlichen Bewegungsvorstellung möglich ist [2]. Diese kann also durch das positive

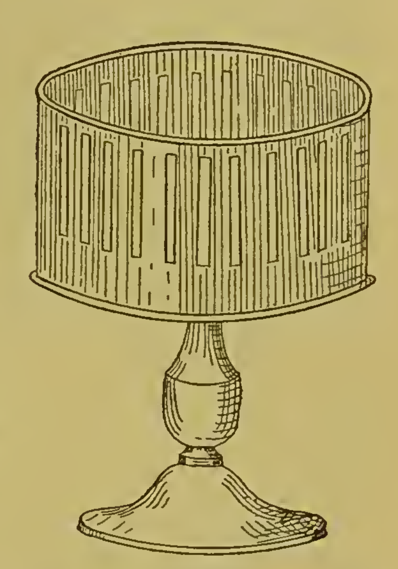


Fig. 296. Stroboskop nach HORNER.

[1] HORNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 32, S. 650. Ältere Vorrichtungen dieser Art sind STAMPFERS Stroboskop und PLATEAUS Phänakistoskop. Vgl. über dieselben HELMHOLTZ, Physiologische Optik [1], S. 350, [2] S. 494 ff.

[2] O. FISCHER, Philos. Stud. Bd. 3, 1886, S. 128 ff. BOURDON, La perception visuelle de l'espace, p. 195. FISCHER stellte die ungefähre Nachbilddauer als das Optimum der Geschwindigkeit des Bildwechsels fest. BOURDON schloß zuerst aus seinen Versuchen, daß die Bewegungsvorstellung noch über diese Zeit hinaus erhalten bleiben kann, was auch die Versuche von PAUL LINKE (Psychol. Stud. Bd. 3, 1907, S. 399 ff.) bestätigen.

Nachbild innerhalb gewisser Grenzen unterstützt oder auch bei einer diese Grenzen überschreitenden Geschwindigkeit durch die eintretende Mischung der Netzhautvorgänge aufgehoben, niemals aber durch den Wechsel der Nachbilder allein erzeugt werden. Vielmehr liegt auch hier die entscheidende Bedingung in jenen reproduktiven Assimilationen, die wir so mannigfach bereits als wesentliche Faktoren der Vorstellungsbildung kennen lernten, und die sich von den früher erörterten Assoziationsvorgängen ähnlicher Art, vor allem von den ihnen nächstverwandten bei den geometrisch-optischen Täuschungen oder bei den alle sonstigen räumlichen Sinneswahrnehmungen begleitenden simultanen Assimilationen dadurch unterscheiden, daß sich das Assimilationsprodukt in einer Reihe sukzessiver Vorstellungen entfaltet[1]. Dies kann eben nur dadurch geschehen, daß die reproduktiven Elemente selbst Bewegungsvorstellungen von im allgemeinen geläufiger Beschaffenheit sind. Auch hier unterscheiden sich freilich die reproduktiven Vorgänge, die dem Eindruck assimilierend entgegenkommen, von dem alten schematischen Begriff der Reproduktion, der überhaupt nur eine Fiktion der Psychologie ist, wesentlich dadurch, daß es nicht irgendwelche fertige Vorstellungen sind, die reproduziert werden, sondern dispositionelle Elemente, die sich in ihrer wirklichen Gestaltung immer erst dem in der Wahrnehmung gegebenen Eindruck anpassen müssen, den sie dann ihrerseits wieder in eine ihrer allgemeinen Richtung adäquate Form umwandeln. Darum ist auch hier der Assimilationsvorgang ein Elementarprozeß, der aus einer Wechselwirkung direkter und reproduktiver Elemente besteht, und bei dem auf beiden Seiten übereinstimmende Elemente gehoben und widerstreitende gehemmt werden, bis ein in die Vorstellungswelt widerspruchslos sich einfügendes Ganzes zustande kommt, ohne daß dieses Ganze selbst jemals in dieser vorhanden gewesen sein müßte.

Leicht lassen sich nun durch weitere Variation der Beobachtungen diese assimilativen Bedingungen der Bewegungsvorstellung näher verfolgen. So ist die letztere vor allem an gewisse Grenzen der Geschwindigkeit gebunden, als deren untere sich etwa ein Intervall von 0,5 und als deren obere ein solches von 0,05 Sekunden zwischen den aufeinander folgenden Pausen ergibt. Unterhalb der ersteren Grenze werden die Phasen nicht mehr zu einer kontinuierlichen Bewegung verbunden, über der letzteren macht die eintretende Licht- und Farbenmischung die Auffassung der Bilder unmöglich. Auf die Form der Bewegungsvorstellung ist ferner das Zahlenverhältnis der Fenster und der Phasen von maß-

---

[1] Über die simultanen Assimilationen überhaupt, insbesondere auch die hier zunächst einschlagenden beim Lesen vgl. Abschn. V, Kap. XIX.

gebendem Einfluß. Sind beide an Zahl gleich, so werden die Bilder auf ein und dasselbe Objekt, z. B. auf ein sich drehendes Rad bezogen, das an seinem Orte verbleibt. Ist dagegen die Zahl der Bilder etwas kleiner oder größer als die der Öffnungen, also z. B., wenn diese n ist, entweder $n-1$ oder $n+1$, so erblickt man eine fortschreitende Bewegung, die im ersten Fall die gleiche, im zweiten die entgegengesetzte Richtung hat, wie die Rotation der Trommel. Dabei gewinnt man aber zugleich die Vorstellung vieler, aufeinander folgender Objekte, z. B. einer Reihe hinter jedem Spalt vorbeirollender Räder. Infolge der gleichzeitigen Sichtbarkeit mehrerer Bilder werden also diese als eine Vielheit einander folgender Objekte aufgefaßt. Trotzdem wirken die auf getrennte Objekte bezogenen Bilder assimilativ aufeinander ein. Denn einerseits wird ein soeben vorübergehendes Bild als ein von dem unmittelbar vorangegangenen verschiedenes Objekt angesehen; anderseits erscheint es aber doch offenbar nur deshalb nicht ruhend, sondern in einer bestimmten Bewegungsphase begriffen, weil jenes vorangegangene Bild auf die Art, wie das neue vorgestellt wird, herüberwirkt. Demnach verbindet sich auch hier mit der reproduktiven eine simultane Assimilation, und der Bewegungseindruck entsteht durch eine Art psychologischer Kontakterregung, die das vorangegangene auf das folgende Bild ausübt. Eine ähnliche, nur in sukzessiver Richtung stattfindende psychologische Influenzwirkung besteht darin, daß neben der, durch die Bewegung entstehenden Bildänderung des Objektes selbst noch die Vorstellung seiner Lageänderung zum umgebenden Raum erforderlich ist. Die letztere wird aber in diesem Fall durch die Vorbeibewegung der Spalten an den wechselnden Bildern hervorgerufen; daher, um die Vorstellung der Fortbewegung entstehen zu lassen, die Zahl der Bilder und der Fenster eine verschiedene sein muß. Dies erklärt sich daraus, daß die Vorstellung der Fortbewegung eines Objekts eine stetige Lageänderung gegenüber der Umgebung voraussetzt. Die Vorstellung der Umgebung kommt aber in diesem Fall durch den Eindruck der an den Bildern vorbeigleitenden Spalten zustande. Zugleich zeigt sich übrigens bei diesen Versuchen, daß die untere Geschwindigkeitsgrenze, bei der eben noch Bewegung wahrgenommen wird, tiefer liegt, wenn man von größeren Geschwindigkeiten mit bereits deutlich ausgebildeter Bewegungsvorstellung kommt, als umgekehrt. Sobald die Bewegungsvorstellung einmal gebildet ist, wirkt sie demnach fort, auch wenn die Bedingungen den sonst erforderlichen nicht mehr völlig entsprechen. Ebenso können Abweichungen der einander folgenden stroboskopischen Bilder in der resultierenden Bewegungsvorstellung verschwinden, so lange nur diese Abweichungen nicht so groß sind, daß sie die assimilativen Einflüsse zurück-

drängen [1]. Läßt man endlich die Rotation so langsam werden, daß eine deutliche Pause zwischen den Vorübergängen der einander folgenden Bilder entsteht, so pflegt gleichwohl zunächst noch die Vorstellung, das einzelne Bild gehöre einem zusammenhängenden Bewegungsvorgange an, bestehen zu bleiben. Man verlegt aber nun diesen Vorgang zum Teil in die Zwischenzeiten, während deren das Objekt nicht gesehen wird, so als wenn dieses abwechselnd aus einem verborgenen Hintergrund auftauchte und wieder verschwände. Auf diese Weise kann man noch bei einem Intervall von 6 Sekunden zwischen je zwei Bildern vollkommen klar die Bewegungsvorstellung vollziehen, während das Nachbild schon bei etwa 3 Sekunden völlig verschwunden zu sein pflegt. Umgekehrt begünstigen größere Geschwindigkeiten von etwa 0,2 Sekunden Intervall und darunter Assoziationen zwischen den Bildern relativ weit auseinander liegender Bewegungsakte, indem nun assimilative Hilfsvorstellungen eingeschaltet werden, die gleichwohl auch hier wieder ebenso lebendig wie die wirklich dargestellten Bewegungsakte erscheinen. Dabei kann es dann außerdem geschehen, daß verschiedene Beobachter je nach den individuellen



Fig. 297. Stroboskopische Bilder mit wechselndem Assimilationseffekt, nach Linke.

Erinnerungsdispositionen abweichende Bewegungsbilder empfangen. Man biete z. B. die in Fig. 297 abgebildeten Phasen in einer regelmäßig in dieser Form aufeinander folgenden Reihe im Stroboskop dar, so erscheint die Figur bei der angegebenen Geschwindigkeit in der Regel wie ein vertikaler schwarzer Stab, entsprechend der Phase II, aus dem abwechselnd links und rechts die horizontalen Seitenstäbe (Phase I und III) herauswachsen, um sich ebenso rasch wieder zurückzuziehen. Es kann aber auch der vertikale Stab in fortwährender Drehung erscheinen, während sich um ihn der horizontale als um seine Achse bewegt. Oder endlich, es kann der Schenkel *a* der rechtwinkeligen Figur I abwechselnd gegen *b* in die Höhe und dann auf der andern Seite wieder herunterzuklappen scheinen (Phase II und III). Ähnlich kann ein Bewegungsbild gänzlich verändert erscheinen, obgleich das dargebotene Objekt das nämliche ge-

[1] Linke, a. a. O. S. 523 ff.

blieben ist, wenn durch eine veränderte Umgebung abweichende Assimilationen geweckt werden. Man zeichne z. B. vier gleiche, mit ihrer konkaven Seite nach oben gerichtete Halbkreise und in jeden an einer andern Stelle, die Peripherie berührend, einen kleinen schwarzen Vollkreis. Man erhält dann bei der Rotation des Apparats das lebhafte Bild einer auf dem Halbkreis hin- und herrollenden Kugel. Dann klebe man über die vier Halbkreise weißes Papier, so daß sie unsichtbar werden, während die Vollkreise bleiben. Jetzt verändert sich plötzlich das Bild: die kleinen Kreise erscheinen wie Kugeln, die vertikal auf- und abbewegt werden. Dabei kann in keinem dieser Fälle von verschiedenen »Deutungen«, »Urteilen« und ähnlichem die Rede sein, sondern das Bild steht ganz so wie ein wirkliches Objekt als unmittelbare Wahrnehmung vor dem Auge des Beobachters[1].

Alle diese Beobachtungen lehren, daß sich bei der Entstehung der stroboskopischen Erscheinungen zwei Faktoren, ein physiologischer und ein psychologischer, verbinden. Der erste besteht in den Nachbildern der Eindrücke, der zweite in der Assimilation der Vorstellungen. In der Regel hat man das erste dieser Momente für das hauptsächlich wirksame angesehen, und dem zweiten höchstens eine sekundäre Bedeutung zugeschrieben. In Wirklichkeit ist das Verhältnis das umgekehrte: die entscheidende Rolle spielt die assimilative Assoziation der Bewegungsvorstellungen, die von der Nachbildwirkung nur insoweit unterstützt wird, als diese die Auffassung einer kontinuierlichen Bewegung begünstigt. Das ist aber schließlich keine andere Wirkung des positiven Nachbildes, als wie sie bei jeder Gesichtswahrnehmung stattfindet. Daß der Gesichtseindruck nicht momentan verschwindet, sondern eine kurze Zeit nachdauert, bildet überall ein wesentliches Moment bei der Bildung dieser Wahrnehmungen, und auf dem richtigen Verhältnis zwischen dem Wechsel der Eindrücke und der ihnen zu ihrer Nachdauer gegönnten Zeit beruht daher allgemein die Deutlichkeit derselben. Darum ist es nun aber auch irreführend, wenn man die stroboskopischen Erscheinungen als »Sinnestäuschungen« bezeichnet. Im Grunde sind sie das noch weniger, als es die sogenannten geometrisch-optischen Täuschungen sind, bei denen wenigstens die Umkehrbarkeit oder Veränderlichkeit der Erscheinungen diesen durch die Vergleichung mit dem wirklichen Objekt veranlaßten Vergleich nahe legt. Die stroboskopischen Erscheinungen dagegen entsprechen in ihren Bedingungen im wesentlichen durchaus unseren normalen Bewegungsvorstellungen. Auch bei diesen fassen wir das bewegte Objekt und seine Relationen zur Umgebung keineswegs von Moment

[1] LINKE, a. a. O. S. 523 ff.

zu Moment auf, sondern aus einzelnen, durch relativ leere oder unbestimmte Intervalle getrennten, an sich also diskontinuierlichen Eindrücken entsteht unter dem Hinzutritt assimilativer Elemente aus vorangegangenen Vorstellungsgruppen das Bild in unserem Bewußtsein. Dieses ist also, wie jedes Wahrnehmungsbild, ein synthetisches Erzeugnis direkter und reproduktiver Elemente, die sich teils verbinden teils verdrängen und sich so zu einem Ganzen zusammenfügen. Die stroboskopischen Erscheinungen zeigen nur diesen Vorgang mit besonderer Deutlichkeit, weil er sich bei der Bewegungsvorstellung in eine Anzahl zeitlicher Akte zerlegt, in denen er sich dann leichter nach seinen verschiedenen Bedingungen variieren läßt.

Verwandt mit den stroboskopischen Erscheinungen sind die eigentümlichen Bewegungsvorstellungen, die man beim Sehen bewegter Objekte durch Gitter beobachtet. Betrachtet man z. B. durch ein Gitter von vertikalen engen Stäben ein sich drehendes Wagenrad, während zugleich das Gitter horizontal fortbewegt wird, so erscheinen die momentan dem Gitter parallelen Speichen vertikal, alle andern gekrümmt, und zwar die horizontalen am stärksten. Die Konvexität der Kurven ist dabei stets nach derjenigen Richtung gekehrt, in der sich das Gitter bewegt. Ist das letztere ruhend, so erscheint es vermöge der Relativität der Bewegungsvorstellung gleichwohl in einer der Raddrehung entgegengesetzten Richtung bewegt, und die Radspeichen erscheinen daher nun regelmäßig nach unten gekrümmt. Übrigens kann die Bewegung des Gitters auch dadurch ersetzt werden, daß sich der Beobachter selbst im entgegengesetzten Sinne an dem Gitter vorbeibewegt [1]. Die Erscheinungen erklären sich daraus, daß, sobald bei der Horizontalbewegung des Gitters die Öffnung mit einer Stelle der Peripherie des Rades zusammentrifft, immer zuerst der äußerste Punkt einer Speiche gesehen wird, während die andern Teile derselben noch verdeckt sind; dann kommt ein weiter gegen das Zentrum gelegener Punkt, usw. Folgt man so den sukzessiv zu Gesicht gelangenden Punkten, so liegen diese auf einer Kurve, die durch die Schnitte der nacheinander zur Deckung gelangenden Punkte einer Gitteröffnung und des Radius des Rades entsteht. Dabei sind es aber stets nur einzelne Punkte dieser Kurve, die als wirkliche Eindrücke wirksam und die dann durch reproduktive Assimilationen zu dem vollständigen Bilde ergänzt werden. Dies erhellt beson-

---

[1] ROGET, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 5, S. 93. PLATEAU, ebend. Bd. 20, S. 320 u. 543. FARADAY, ebend. Bd. 22, S. 601. EMSMANN, ebend. Bd. 54, S. 326. O. FISCHER, Philos. Stud. Bd. 3, S. 154. LINKE, Psychol. Stud. Bd. 3, S. 397 ff.

ders deutlich aus dem Einfluß, den die durch die Vorbeibewegung des Beobachters erzeugte entgegengesetzte Scheinbewegung des Gitters ausübt.

Wie in diesen Fällen bei der unmittelbaren Bildung einer Bewegungsvorstellung vorangegangene Eindrücke mitwirken, so kann nun endlich auch eine vorangegangene eine nachfolgende, sekundäre Bewegungsvorstellung durch das von jener zurückbleibende Nachbild hervorrufen. Verfolgt man z. B. bei der Eisenbahnfahrt die nahe befindlichen, in rascher Scheinbewegung begriffenen Gegenstände, und blickt dann auf den Fußboden des Wagens, so scheint dieser in der Richtung des Zugs dem Blick zu entfliehen. Richtet man am Ufer eines schnell fließenden Gewässers den Blick etwa eine Minute lang auf das Spiel der Wellen und fixiert dann ruhende Objekte, wie den Ufersand oder die Fensterreihe eines Hauses, so bewegen sich diese wiederum in entgegengesetzter Richtung[1]. In allen diesen Fällen ist die Scheinbewegung auf die Nachbarschaft der fixierten Stelle beschränkt. So ist z. B. im letzterwähnten Versuch nur die fixierte Fensterreihe in der Scheinbewegung begriffen, während die darüber und darunter gelegene still zu stehen scheinen. Nimmt man ferner zwei Scheiben mit abwechselnd schwarzen und weißen Sektoren, wie sie zu Versuchen am Farbenkreisel dienen, und läßt man die eine von ihnen längere Zeit mit solcher Geschwindigkeit vor dem Auge rotieren, daß noch eben die einzelnen Sektoren deutlich zu unterscheiden sind, so scheint, wenn man plötzlich den Blick von der bewegten auf die ruhende Scheibe wendet, diese sich in entgegengesetztem Sinne zu drehen. Wählt man als rotierendes Objekt eine weiße archimedische Spirale auf schwarzem Grunde, so erscheint dieselbe bei der Drehung nicht als Spirale, sondern infolge des fortwährenden Wechsels der Bilder verbinden sich die Eindrücke zu der Vorstellung eines Systems konzentrischer Kreise, die fortwährend ineinander übergehen. Dreht man die Scheibe so, daß das periphere Ende der Spirale vorwärts schreitet, so erzeugen sich die Kreise an der Peripherie und schreiten immer kleiner werdend gegen das Zentrum fort; dreht man entgegengesetzt, so erzeugen sich die Kreise im Zentrum und schreiten größer werdend gegen die Peripherie fort, wo sie verschwinden. Fixiert man nun eine solche Scheibe eine Zeitlang, und geht dann mit dem Blick auf ein andres Objekt über, so zeigt dasselbe wiederum eine Bewegung im entgegengesetzten Sinne. Ein menschliches Angesicht z. B. scheint sich bei der ersten Art der Drehung zu vergrößern, bei entgegengesetzter Anordnung zu verkleinern[2]. Die Beschaffenheit dieser Bewegungserscheinungen läßt

[1] Purkinje, Med. Jahrb. des österr. Staates, Bd. 6, 2, S. 96. Oppel, Poggendorffs Annalen, Bd. 99, 1856, S. 540.

[2] Plateau, Poggendorffs Annalen, Bd. 80, 1849, S. 287. Oppel, ebend. Bd. 99,

keinen Zweifel daran, daß man es bei ihnen weder mit Wirkungen der Augenbewegungen noch, wie mehrfach angenommen wurde, mit rätselhaften Reaktionen der Netzhaut, sondern lediglich mit Wirkungen des Nachbildes zu tun hat, zu denen außerdem wiederum assimilative Momente hinzutreten. Indem ein schwaches Nachbild der gesehenen Bewegung im Auge zurückbleibt, scheint ein fixiertes Objekt infolge der Relativität der Bewegungsvorstellung in entgegengesetztem Sinne bewegt zu sein. Das Nachbild, in der Regel zu schwach um selbst gesehen zu werden, genügt doch, um auf das Objekt die zu seiner eigenen entgegengesetzte Richtung zu übertragen. Hieraus erklärt sich die Beschränkung der Scheinbewegung auf den Fixationspunkt und seine Nachbarschaft in den zuerst geschilderten Fällen, ebenso wie die Verbindung mehrerer konzentrischer Bewegungen in den zuletzt erwähnten, die eine Ableitung aus unwillkürlichen und unbeachteten Augenbewegungen ausschließen[1].

Das Stroboskop ist unabhängig von STAMPFER und von PLATEAU 1882 erfunden und von dem ersteren unter seinem noch heute gebrauchten Namen, von PLATEAU als »Phänakistoskop« beschrieben worden[2]. Beide Instrumente bestanden aus zwei gegeneinander rotierenden Scheiben, deren eine die Bilder, und deren andere die zum Durchsehen bestimmten Öffnungen trug. Sie sind jedoch in der Praxis durch das in seiner gewöhnlichen Gestalt oben Fig. 296 abgebildete trommelförmige, von seinem Erfinder HORNER »Dädaleum« genannte Instrument verdrängt worden. Ihm gleicht im wesentlichen auch der »Schnellseher« von O. ANSCHÜTZ, nur daß dieser außerdem durch eine Drehung um 90 Grad eine Aufstellung um eine horizontale Achse gestattet. Eine Modifikation des scheibenförmigen Apparates, bei der vor der Scheibe mit der

---

S. 540. Eine interessante Modifikation dieses Versuchs ist die folgende: Man legt auf eine mit einer Spirale versehene größere Scheibe eine kleinere mit entgegengesetzt laufender Spirale und darauf endlich noch eine kleinere mit der ersten gleichlaufende. Versetzt man diese Kombination in rasche Rotation, so zeigen sich als Bewegungsnachbilder auf einem nachher fixierten weißen Schirm konzentrische Ringe, von denen die einen zu schrumpfen, die andern anzuschwellen scheinen. Fixiert man die Scheiben nur mit dem einen Auge und betrachtet dann die weiße Fläche mit dem andern, so erblickt auch dieses, wenn auch in etwas schwächerem Grade, die Nachbilderscheinung. Vgl. DVORAK, Wiener Sitzungsber. 2. Abt. Bd. 66, 1872. KLEINER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 18, 1878, S. 572.

[1] Auch die oben (vor. Anm.) erwähnte Beobachtung, daß sich beide Augen in die Erzeugung der Erscheinung teilen können, indem das eine den bewegten Gegenstand fixiert, das andere die nachfolgende Scheinbewegung wahrnimmt, fügt sich dieser Erklärung, da der Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes im verschlossenen Auge auf das gemeinsame Sehfeld herüberwirkt. Manche andere Erscheinungen erklären sich auf ähnliche Weise: so die von ZEHFUSS (WIEDEMANNS Annalen, Bd. 9, S. 674), EXNER (Wiener Sitzungsber. 3. Abt., Bd. 72, 1875, Zentralblatt für Physiologie, 1887, S. 135, Zeitschr. für Psychol. Bd. 21, 1899, S. 388), LIPPS (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 1, S. 60), O. SCHWARZ (ebend. Bd. 3, S. 308), BORSCHKE und HESCHELER (ebend. Bd. 27, 1902, S. 387) u. a. beschriebenen Phänomene.

[2] Zur Geschichte dieser Instrumente vgl. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 350, [2] S. 494 ff.

Bilderreihe eine andere mit nur einem Spalt in gleicher oder entgegengesetzter Richtung rotieren kann, das ebenfalls von PLATEAU zuerst angewandte »Anorthoskop«, bringt Mischungen von Bewegungserscheinungen mit Bildverzerrungen hervor, an denen ebenfalls teils Nachbildwirkungen, teils Assimilationen beteiligt sind, die aber noch der näheren psychologischen Analyse mit Rücksicht auf ihre Variationen unter wechselnden Bedingungen bedürfen[1]. Die aus der Anwendung des stroboskopischen Prinzips auf die Momentphotographie hervorgegangenen »kinematographischen Apparate« können hier außer Betracht bleiben, da sie lediglich praktische Zwecke verfolgen, für die Untersuchung der psychophysischen Faktoren der Bewegungsvorstellung aber hinter dem Stroboskop zurückstehen. Doch ist auch bei diesem die gewöhnlich benutzte einfache Form (Fig. 296) für exakte Zwecke ungeeignet, sondern man bedarf

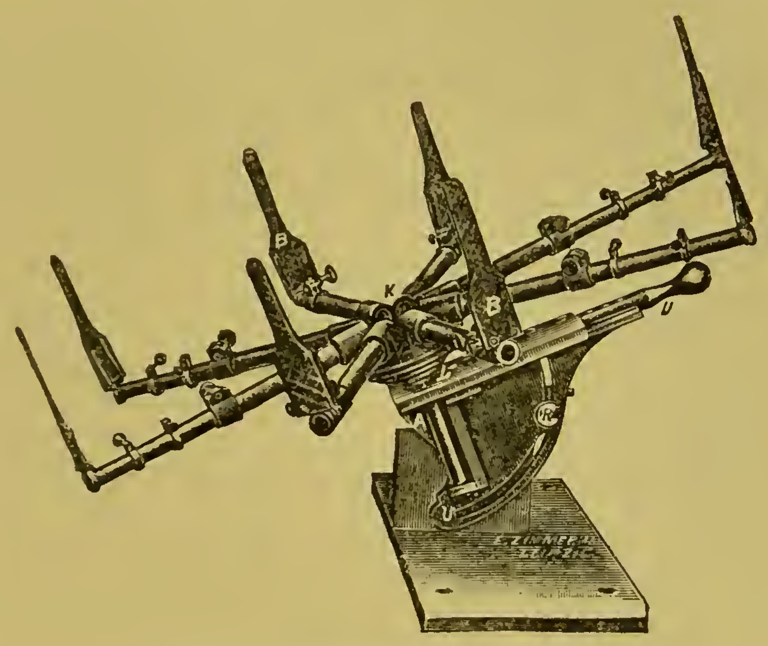


Fig. 298. Stroboskop für exakte Versuche.

dazu eines Apparates, bei dem ein stetiger Gang der Bewegung, sowie gleichförmige und zugleich beliebig variierbare Geschwindigkeit gesichert sind, während die sonstigen Bedingungen freier variiert werden können. Hierzu diente bei den von LINKE im Leipziger Laboratorium ausgeführten Versuchen der in Fig. 298 abgebildete Apparat. Auf einem schweren metallenen Fußgestelle befindet sich die Achse A, die mittels der durch die Schraube R fixierbaren Umlegevorrichtung U in jede Lage zwischen der vertikalen und horizontalen gebracht werden kann, so daß also die Drehungsrichtung der Bilder und der Spalten beliebig variierbar ist. Um die Achse sind senkrecht zu ihr in sechs gleichen Winkelabständen die acht Bildträger B befestigt, die, in drei ineinander verschiebbaren Metallhülsen laufend, von 42 bis auf

[1] ZÖLLNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 117, 1862, S. 477 ff. HELMHOLTZ, Physiologische Optik², S. 749. GERTH, Skandinav. Archiv, Bd. 10, 1900, S. 53 ff.

100 cm Länge verstellt werden können. Die verschiedenen, bei den Versuchen zu verwendenden Bilder und Schlitze fertigt auf auszuwechselnden Kartons nach dem besonderen Bedürfnis seiner Versuche der Experimentator sich selbst an. Diese Kartons werden an der Innenseite der aufrechten Stäbe befestigt, in denen die Bildträger enden. Ein Schnurlauf L verbindet endlich die Drehungsachse mit einem Elektromotor, der eine konstante, aber zugleich innerhalb der erforderlichen Grenzen variierbare Umdrehungsgeschwindigkeit sichert.

Bei ihrem ersten Bekanntwerden wurden die stroboskopischen Erscheinungen einfach als Nachbildphänomene gedeutet. Noch HELMHOLTZ behandelte so das Stroboskop im wesentlichen als eine besondere Modifikation der zur Farbenmischung dienenden sogenannten Farbenkreisel, indem er gleich den Erfindern der Stroboskope die Bedeutung der durch die Schlitze bewirkten Unterbrechungen und des Wechsels der Bilder lediglich darin sah, daß dadurch das positive Nachbild sofort in das Bild einer neuen Situation des gleichen Gegenstandes übergeführt werde. Noch gegenwärtig halten manche Beobachter an dieser Auffassung fest. Man pflegt dann die mit ihr nicht übereinstimmenden Erscheinungen als ein Übersehen oder Vernachlässigen von Empfindungsbestandteilen zu interpretieren[1]. Diesen unzulänglichen Erklärungen gegenüber hat zuerst OTTO FISCHER auf die wichtige Beteiligung assoziativer Prozesse bei diesen Bewegungsvorstellungen hingewiesen, und weiterhin BOURDON die Fortdauer des stroboskopischen Effektes selbst bei völliger Unterbrechung der Nachbildwirkungen aus seinen Versuchen erschlossen. Endlich wurde von PAUL LINKE direkt die sekundäre Bedeutung des Nachbildes gegenüber den assimilativen Wirkungen nachgewiesen und an einer Reihe schlagender Beispiele der Einfluß der letzteren aufgezeigt. So hat sich die heutige wissenschaftliche Situation gegenüber diesem Phänomen völlig in ihr Gegenteil umgewandelt. Ursprünglich als ausschließliche Wirkungen der positiven Nachbilder und ihrer durch das TALBOTsche Gesetz bestimmten Verschmelzungsbedingungen geltend, ist nunmehr die Nachdauer des Eindrucks auf die gleiche Bedeutung reduziert, die ihr bei jeder Sinneswahrnehmung zukommt, indes simultane und reproduktive Assimilation sich auch hier als die wesentlichen Faktoren der resultierenden Vorstellungen ergaben.

c. Gesichtsschwindel.

Die zuletzt geschilderten Bewegungstäuschungen berühren sich bereits nahe mit den Erscheinungen des Gesichtsschwindels, und manche von ihnen können sich unmittelbar mit diesem verbinden. Er selbst ist aber durchaus verwandt den Schwindelerscheinungen im Gebiete des Tastsinnes, besonders denjenigen, die auf den tonischen Sinnesapparat des Bogenlabyrinths zurückzuführen sind, und diese pflegen ihn mehr oder minder ausgeprägt stets zu begleiten[2]. Die nächste Ursache für

---

[1] So C. MARBE, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 376 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 97, 1903, S. 335 ff. E. DÜRR, Phil. Stud. Bd. 15, 1900, S. 501 ff.

[2] Vgl. oben S. 500 ff. und Bd. 1, S. 326.

die bei dem Schwindel zu beobachtende Scheinbewegung der Objekte liegt auch hier in nicht empfundenen oder nur unvollständig empfundenen Augenbewegungen, infolge deren die durch die letzteren entstandenen Veränderungen des Netzhautbildes als Bewegungen der Objekte erscheinen. Sobald man bei einem Schwindelanfall, aus welcher Ursache er auch entstanden sei, das Auge geöffnet hält, treten solche Scheinbewegungen auf, und sie sind sogar bei geschlossenem Auge an dem Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes wahrzunehmen. Am augenfälligsten ist die Erscheinung beim Drehschwindel. Hat man sich mehrmals rasch auf der Ferse gedreht und hält dann plötzlich still, so setzen die Objekte die Scheinbewegung, in der sie während der Drehung begriffen waren, eine Zeitlang fort, und jene ist viel intensiver als während der Drehung, weil man sich jetzt des Stillstandes des eigenen Körpers bewußt ist. Die Scheinbewegung erfolgt demnach in einem der vorangegangenen Drehung um die Körperachse entgegengesetzten Sinne[1]. Zugleich aber richtet sie sich nach der Orientierung des Kopfes, indem sie stets um die bei normaler Stellung vertikale Achse desselben gerichtet ist. Neigt man daher, während die Scheinbewegung erfolgt, den Kopf plötzlich zur Seite, so verändert auch jene in entsprechendem Sinn ihre Richtung. Daß die Erscheinung durch Augenbewegungen wenigstens hauptsächlich bedingt wird, davon kann man sich teils durch die objektive Beobachtung der Augen teils subjektiv durch die Erzeugung eines Nachbildes überzeugen: das letztere bewegt sich nämlich in entgegengesetzter Richtung wie die in Scheinbewegung befindlichen Objekte[2]. Es reihen sich also in dieser Beziehung die Bewegungstäuschungen vollständig den oben (S. 575 ff.) erwähnten an, bei denen ebenfalls nicht empfundene oder unterschätzte Augenbewegungen eine Rolle spielen. Dies wird auch dadurch bestätigt, daß die Scheinbewegung zum Stillstand gebracht werden kann, wenn man einen Gegenstand starr fixiert, was freilich bei starkem Schwindel sehr schwer gelingt. Die Augenbewegungen selbst, welche die Scheinbewegung erzeugen, sind aber durch die anderweitigen peripheren und zentralen Bedingungen verursacht, die dem Schwindel überhaupt zugrunde liegen, und unter denen namentlich die Reflexverbindungen des Bogenlabyrinths mit den Augenmuskeln hervortreten. Dies erhellt deutlich aus der Art des Eintritts und Verlaufs der Erscheinungen. Zunächst bewegt sich nämlich das Auge in der der Körperbewegung entgegengesetzten Richtung; hat es dann in dieser eine seitliche Ablenkung erreicht, die nicht mehr überschritten werden kann, so springt es plötzlich in die An-

[1] Purkinje, Med. Jahrb. des österr. Staates, Bd. 6, 2, S. 79 ff.

[2] Mach, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen, S. 84. Breuer und Kreidl, Pflügers Archiv, Bd. 70, 1898, S. 494. Ed. Hitzig, Der Schwindel, 1898.

fangslage zurück, worauf seine Bewegung und damit auch die Scheinbewegung von neuem beginnt, ein Prozeß, der sich mehrmals nacheinander wiederholen kann. Unterstützt werden alle diese Gesichtserscheinungen durch die gleichzeitigen Symptome des früher (S. 500 ff.) erwähnten Tastschwindels. Indem diese darin bestehen, daß unser eigener Körper sowie jeder unmittelbar betastete Gegenstand sich in einem der ausgeführten Drehung entgegengesetzten Sinne zu drehen scheinen, entsteht schon bei geschlossenem Auge die Vorstellung, daß der Raum außer uns in einem der ursprünglichen Drehbewegung entgegengesetzten Sinne in Rotation versetzt werde. So erklärt es sich wohl auch, daß im Auge erzeugte Druckbilder trotz ihrer fixen Lage auf der Netzhaut eine ähnliche Scheinbewegung wie äußere Objekte ausführen können. Da nun solche Druckbilder in die Ferne projiziert werden, so beteiligen sie sich von selbst an den scheinbaren Dislokationen, die der gesamte Gesichtsraum und die unser eigener Körper erfahren.

5. Binokulare Wahrnehmungen und Tiefenvorstellungen.

a. Synergie der Bewegungen des Doppelauges.

Unsere beiden Augen sind in physiologischer Hinsicht zusammengehörige Organe. Ähnlich wie bei den Organen der Ortsbewegung beruht aber die Gemeinschaft ihrer Funktion zu einem wesentlichen Teile auf der funktionellen Verbindung ihrer Bewegungsapparate. Die Stellung der beiden Augen zueinander ist nun unzweideutig bestimmt, wenn man erstens die Richtungen der beiden Blicklinien und zweitens die Orientierung jedes einzelnen Auges in bezug auf seine Blicklinie kennt. Letztere wird, wie früher (S. 550) bemerkt, an dem sogenannten Rollungs- oder Raddrehungswinkel gemessen. Bei der unmittelbaren Verfolgung der Augenbewegungen pflegen wir zunächst nur die Richtungen der Blicklinien zu beachten, da sie allein unter dem direkten Einfluß des Willens stehen. Die Rollungen, die infolge der mechanischen Bedingungen der Bewegung ohne unser Wissen und Wollen eintreten, und die unter allen Umständen sehr klein sind, können durch die physiologische Untersuchung erst nachgewiesen werden; wir wollen daher vorläufig von ihnen absehen, um weiter unten auf sie und ihre Bedeutung für das Doppelauge zurückzukommen. An den Bewegungen der Blicklinien gibt sich die Synergie des Doppelauges sogleich dadurch zu erkennen, daß sich im allgemeinen stets beide Blicklinien gleichzeitig bewegen, und daß gewisse Richtungen der Bewegung miteinander fest verknüpft sind, so daß ihre Verbindung nur unter ungewöhnlichen Verhältnissen oder infolge beson-

derer Einübung gelöst werden kann. In dieser Beziehung ist der Zwang zur zusammenstimmenden Bewegung beim Doppelauge sogar viel größer als bei den Organen der Ortsbewegung, und er nähert sich dem Zwang zur bilateralen Aktion, wie er an den vollkommen symmetrisch wirksamen Muskelgruppen, z. B. an den Atmungs- und Schluckwerkzeugen, besteht.

Beide Augen heben oder senken sich demnach unter allen Umständen gleichmäßig; ungleiche Höhenstellungen derselben gibt es nicht bei normalem Bewegungsapparat. Seitwärts können sie sich dagegen sowohl um gleiche wie um ungleiche Winkel wenden, dabei müssen aber entweder die Blicklinien parallel stehen oder nach irgendeinem Punkte konvergieren; Divergenzstellungen sind normalerweise unmöglich. Unter diesen verschiedenen Bewegungen scheinen nun diejenigen mit parallel bleibenden Blicklinien, welche wir die Parallelbewegungen nennen wollen, ursprünglich die natürlichsten zu sein. Kinder in den ersten Lebenstagen sieht man vorzugsweise solche ausführen. Allerdings treten zeitweise auch Konvergenzstellungen ein; sie kommen aber fast nur dann vor, wenn der Blick gesenkt wird, eine Bewegung, die beim Neugeborenen verhältnismäßig selten ist. Diese Erscheinung hängt damit zusammen, daß überhaupt, sobald die Blicklinien in eine geneigte Lage übergehen, ein unwillkürlicher Antrieb zur Konvergenz derselben erfolgt (S. 555). Die Parallelbewegung ist nun die zweckgemäße, wenn sich unsere Aufmerksamkeit unendlich entfernten Objekten zuwendet; denn in unendlicher Entfernung treffen unsere parallelen Blicklinien in einem einzigen Blickpunkte zusammen. Bei gesenktem Blick bieten sich dagegen in der Regel nur nähere Gegenstände unserer Betrachtung dar. Jene Stellungsänderung entspricht also den in der gewöhnlichen Anordnung der Gesichtsobjekte gegebenen Anforderungen. Zugleich ist sie aber in den mechanischen Gesetzen der Augenbewegungen begründet. Dies beweist eben der Umstand, daß sie auch dann unwillkürlich eintritt, wenn uns durchaus keine nahen Gegenstände zur Fixation geboten werden. Überdies führt sie, wie früher hervorgehoben, zu konstanten Täuschungen über die Richtung vertikaler Linien, denen wir bei monokularer Betrachtung ausgesetzt sind (S. 595).

Alle Konvergenzstellungen zerfallen ferner in symmetrische und in asymmetrische. Die ersteren sind solche, in denen beide Gesichtslinien von der gerade nach vorn gerichteten Parallelstellung aus um gleich viel nach innen gedreht sind; der Blickpunkt liegt bei ihnen stets in der Medianebene. Asymmetrisch sind diejenigen, bei denen sich der Blickpunkt nicht in der Medianebene befindet; dabei sind entweder beide Augen von der gerade nach vorn gerichteten Parallelstellung aus um un-

gleiche Winkel nach innen, oder es ist nur das eine Auge nach innen, das andere um einen kleineren Winkel nach außen gedreht. Diese Konvergenzbewegungen sind in jeder Höhenstellung der Gesichtslinien möglich. Aber wie die Parallelstellung bei gesenktem Blick unwillkürlich in Konvergenz übergeht, so streben jene bei der Erhebung des Blicks der Parallelstellung zu, so daß sie sich ohne unser Wissen und Wollen vermindern. Auch dies beruht auf den schon erörterten Gesetzen der Augenbewegung, nach denen die Konvergenz bei geneigter Blicklinie mechanisch erleichtert ist.

Fig. 299. Parallel- und Konvergenzbewegung der Blicklinien.

Bei den seitlichen Parallelbewegungen drehen sich beide Gesichtslinien um gleiche Winkel nach rechts oder links; bei den symmetrischen Konvergenzbewegungen drehen sie sich um gleiche Winkel nach innen oder außen. Jenem entspricht eine Seitenverschiebung, diesem eine Tiefenverschiebung des gemeinsamen Blickpunktes. Nun kann sich aber dieser auch gleichzeitig nach der Seite und nach der Tiefe verschieben: dem entspricht die asymmetrische Konvergenzstellung. Sie läßt sich demnach innerhalb der Grenzen der durch die Sehweite des Auges bestimmten, nicht allzu kleinen Entfernungen aus einer seitlichen Parallelbewegung und aus einer symmetrischen Konvergenz zusammengesetzt denken. In der Tat würde das Auge aus einer Anfangsstellung mit gerade nach vorn gerichteten Blicklinien (ϱr, λl Fig. 299) in jede asymmetrische Konvergenz von gleicher Höhenstellung so übergehen können, daß es zuerst eine parallele Seitwärtswendung (in die Lage $\varrho r''$, $\lambda l''$) ausführte, durch welche der Fixationspunkt a in die Mitte zwischen beide Gesichtslinien gebracht würde, worauf dann in dieser Seitenstellung eine symmetrische Konvergenz erfolgte ($\varrho r'''$, $\lambda l'''$). Obgleich wir nun in Wirklichkeit diese doppelte Bewegung nicht ausführen, sondern unmittelbar etwa von einem Punkte α auf den Punkt a über-

gehen, so ist doch höchstwahrscheinlich die Innervation in solcher Weise zusammengesetzt. Zunächst bemerkt man nämlich, daß bei asymmetrischer Konvergenz gerade in demjenigen Auge, das am wenigsten aus seiner anfänglichen Ruhelage abgelenkt wurde, die Druckempfindung, die ausgiebige Augenbewegungen begleitet, am größten ist. So überwiegt, wenn die beiden Augen ϱ und λ auf den rechts gelegenen Punkt a eingestellt sind, die Druckempfindung im rechten Auge, obgleich dieses nur um den Winkel $r \varrho r'''$, das linke dagegen um den viel größeren $l \lambda l'''$ aus seiner Ruhelage abgelenkt ist. Ebenso ist die Druckempfindung im Auge ϱ bei der Einstellung auf den Punkt a größer, als wenn es in symmetrischer Konvergenz auf α gerichtet ist, obgleich der Winkel $r \varrho r'''$ kleiner als $r' \varrho r$ ist. Noch mehr, verlegt man den Fixationspunkt a in der Richtung der Linie $\varrho r'''$ in immer größere Ferne, so ist deutlich eine Verminderung der Druckempfindung in dem Auge ϱ bemerkbar, obgleich sich doch seine Stellung gar nicht verändert, und nur das Auge λ sich allmählich der Parallelstellung genähert hat. Hiermit hängt die von HERING gefundene Tatsache zusammen, daß das Drehungsmoment eines jeden Auges nach außen beim Sehen in die Nähe kleiner ist als beim Sehen in die Ferne[1]. Bei der Fixation eines nahe gelegenen seitlichen Punktes wird eben die Innervation zur Außenwendung immer teilweise kompensiert durch die Innervation zur Konvergenz. Daraus erklärt sich denn auch die erhöhte Druckempfindung. Sind die Augen ϱ und λ auf den Punkt a eingestellt, so ist in λ nur der Rectus internus innerviert, und die volle Innervationskraft desselben ist auf Innenwendung gerichtet. In ϱ dagegen empfängt der Rectus externus einen Impuls, der für sich das Auge nach $\varrho r''$ richten würde, doch ist ein Teil dieser Drehung kompensiert durch die Innervation des Rectus internus, durch den es erst in seine wirkliche Richtung $\varrho r'''$ gebracht wird. Hier ist also eine Innervationsgröße, die dem Winkel $r''' \varrho r''$ entspricht, nicht auf wirkliche Bewegung, sondern zur Kompensation der Muskelkräfte verwandt: sie muß daher als Druck auf den Augapfel zur Geltung kommen. Belehrend scheint mir auch der folgende Versuch zu sein. Man verdecke zunächst, während das eine Auge λ einen in der Medianebene gelegenen Punkt fixiert, das andere Auge ϱ mit einem Blatt Papier. Zieht man dann nach einiger Zeit dieses Blatt plötzlich weg, so findet sich, daß sogleich beide Augen richtig auf den Punkt eingestellt sind; auch kann ein objektiver Beobachter bemerken, daß die Gesichtslinie des Auges ϱ schon während dieses bedeckt ist die Stellung $\varrho r'$ einnimmt, welche symmetrisch zu $\lambda l'$ ist. Fixiere ich dagegen mit

[1] HERING, Die Lehre vom binokularen Sehen. 1868, S. 10 f. Physiologische Optik, in HERMANNS Handbuch, Bd. 3, I, S. 519 ff.

dem Auge λ einen stark seitlich gelegenen Punkt a, so sehe ich im ersten Moment, nachdem das bedeckende Blatt vor dem Auge ϱ weggenommen ist, Doppelbilder, weil die Gesichtslinie während der Bedeckung des Auges nicht die Stellung $\varrho r'''$ einnahm, sondern davon etwas nach außen gegen $\varrho r''$ abwich. Demnach begleitet das bedeckte Auge Einstellungen des andern auf einen in der Medianebene gelegenen Punkt in symmetrischer Konvergenz. Ebenso macht es Hebungen und Senkungen der Blicklinie oder Seitwärtswendungen in paralleler Blickstellung mit. Dagegen stellt es sich in der Regel nicht auf den Fixationspunkt ein, wenn solches eine von der symmetrischen erheblich abweichende Konvergenz erfordern würde, sondern es weicht in diesem Fall im Sinne der entsprechenden Parallelstellung ab. Die Mitbewegung des bedeckten Auges beweist an und für sich, daß beide Augen einer gemeinsamen Innervation folgen, welche nicht erst durch gemeinsame Blickpunkte, denen sie sich zuwenden, zustande kommt. Die Abweichung von der Einstellung auf den gemeinsamen Blickpunkt, die man bei stark asymmetrischer Konvergenz beobachtet, spricht aber dafür, daß hier ein komplizierteres Verhältnis der Innervation stattfindet. In der Tat kann z. B. eine Linkswendung des linken Auges für das rechte Auge entweder eine gleich große Linkswendung erfordern: dies ist der Fall der einfachen Innervation für die Parallelstellung. Oder sie kann sich mit einer stärkeren Innenwendung desselben verbinden: bei asymmetrischer Konvergenz. Ist nun das eine Auge verdeckt, so bleibt ihm zwischen beiden Fällen gleichsam die Wahl, und die Beobachtung lehrt, daß es dann der einfacheren Innervation folgt. Dieser Erfahrung entspricht es, daß, wo beide Augen sich ohne bestimmte Fixationspunkte bewegen, wie beim Neugeborenen, fast nur Parallelstellung vorkommt, weil bloß eine beschränkte Zahl von Konvergenzstellungen, die symmetrischen nämlich, einer ähnlich einfachen Innervation gehorchen.

Somit existieren am Auge drei unter gewöhnlichen Verhältnissen unlösbare Verbindungen der Bewegung, die auf der gleichzeitigen zentralen Innervation beider Sehorgane beruhen: Hebung und Senkung, Rechts- und Linkswendung, Innenwendung. Das Doppelauge gleicht in bezug auf die Innigkeit dieser Verbindungen vollständig den symmetrisch wirkenden Muskelgruppen, wie denen der Atmung, des Schluckens. Die scheinbar größere Freiheit seiner Bewegungen beruht nur darauf, daß unter den drei Innervationen, die sie beherrschen, zwei sich teilweise entgegenwirken können, nämlich die für Rechts- und Linkswendung und die für Innenwendung. Die erste Innervation deutet auf eine zentrale Verbindung des Rectus externus der einen mit dem internus der andern Seite, die letztere auf eine solche der beiden innern Muskeln miteinander. Die Innervation

des Doppelauges ist aber von dem Gesetze beherrscht, daß sich die beiden Gesichtslinien normalerweise jeweils auf einen einzigen Blickpunkt einstellen. Dies wäre nicht mehr der Fall, wenn dieselben in ungleichem Grade gehoben oder gesenkt würden, oder wenn sie divergierten. Solche Stellungen kommen daher bei normalen Augen nicht vor. Durch diese Gebundenheit der Augenbewegungen an die Möglichkeit eines gemeinsamen Blickpunktes wird jedoch keineswegs bewiesen, daß die gleichzeitige Einstellung auf bestimmte Punkte im Sehfeld der zwingende Grund für jenen Mechanismus der Innervation sei. In der Tat läßt sich dies, wenn man sich auf die Betrachtung der individuellen Entwickelung beschränkt, kaum voraussetzen. Der Neugeborene bewegt seine Augen ohne bestimmte Blickpunkte und in der Regel in Parallelstellungen[1]. Ebensolche Bewegungen fand DONDERS bei einem Blindgeborenen[2]. Jedenfalls sind also die Bewegungsgesetze schon klar ausgeprägt, ehe sich deutliche Anzeichen einer Gesichtswahrnehmung gewinnen lassen. Es gibt freilich Tiere, bei denen sogleich nach der Geburt Gesichtsvorstellungen vorhanden zu sein scheinen. Aber der zentrale Mechanismus der Innervation ist schon in dem Embryo angelegt. Wenn also zwischen ihm und der Bildung der Wahrnehmungen ein Kausalverhältnis besteht, wie nicht zu verkennen ist, so müssen bei der individuellen Entwickelung die Gesetze der Innervation das Bedingende, die Vorstellungen das Bedingte sein. Dies schließt natürlich nicht aus, daß sich bei der Entwickelung der Art umgekehrt die zentralen Vorrichtungen für die Innervation des Doppelauges unter der Leitung der Gesichtswahrnehmungen ausgebildet haben. Bei den meisten Tieren sind, wie schon J. MÜLLER[3] bemerkt hat, die beiden Augen in funktioneller Beziehung unabhängiger voneinander als beim Menschen, weil ihnen ein gemeinsames Gesichtsfeld fehlt, oder weil dieses von beschränkterer Ausdehnung ist. Tiere mit vollkommen seitlich gestellten Augen sehen daher auch nicht gleichzeitig mit beiden, sondern abwechselnd mit dem einen und andern. Deshalb sind hier die Augen in bezug auf ihre motorische Innervation unabhängiger voneinander[4]. In der Entwickelung der Art werden also erst mit der Aus-

---

[1] J. MÜLLER, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, S. 293.

[2] DONDERS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, 1876, S. 383. In andern Fällen wurden jedoch bei Blindgeborenen unregelmäßige und anscheinend völlig voneinander unabhängige Bewegungen der beiden Augen beobachtet (VON HIPPEL, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 2, 1875, S. 104, 122). Ebensolche kommen bei seit längerer Zeit Erblindeten vor. Nach erfolgreicher Operation Blindgeborener pflegen sich mit der Entwickelung der binokularen Gesichtswahrnehmungen auch die Augenbewegungen in normaler Weise zu assoziieren. Vgl. den Schluß dieses Kapitels (6, b).

[3] A. a. O. S. 99 f.

[4] Dies läßt sich z. B. sehr deutlich am Chamäleon wegen seiner hervorstehenden Augen beobachten: während sich das eine nach oben oder vorn wendet, kann das andere

bildung eines gemeinsamen Gesichtsfeldes die zentralen Verbindungen zu gemeinsamer Innervation entstanden sein. Diese Verbindungen haben jedoch, wie der Einfluß der Lichteindrücke auf die Bewegungen des Auges lehrt, die nächste Ähnlichkeit mit denjenigen, welche die Reflexbewegungen beherrschen; sie scheinen nur mit einer viel genaueren Regulation verbunden zu sein, als z. B. der Reflexmechanismus des Rückenmarks. Die Beobachtung zeigt nämlich, daß von jedem Lichteindruck ein gewisser Antrieb zur Bewegung des Auges ausgeht. So bedarf es bekanntlich besonderer Anstrengung und Übung, einen imaginären Blickpunkt zu wählen, d. h. einen solchen, dem kein reeller Objektpunkt entspricht. Bei diesen Reflexverbindungen zwischen Netzhauteindrücken und Augenbewegungen handelt es sich demnach offenbar um einen jener komplizierten Reflexe, als deren Zentren wir die Hirnganglien, namentlich Seh- und Vierhügel, kennen lernten (Bd. 1, S. 310 ff.). Die nächste Analogie hat aber wohl diese Lenkung der Augenbewegungen durch die Lichteindrücke mit der Beziehung der Ortsbewegungen zu den Tastempfindungen. Nur scheint beim Auge die Verbindung eine noch festere, darum dem einfachen Reflex verwandtere zu sein, ähnlich wie auch die bilaterale Symmetrie der Bewegungen strenger eingehalten ist als bei den Organen der Ortsbewegung. Man gebe z. B. dem Doppelauge zunächst einen imaginären Blickpunkt, was am leichtesten gelingt, wenn man nach einer fernen Fläche starrt und dann irgendwo vor derselben die Blicklinien zur Konvergenz bringt. Ist die ferne Fläche eine Tapete, so läßt sich aus der scheinbaren Verkleinerung des Musters derselben die Entfernung des vor ihr gelegenen Konvergenzpunktes annähernd ermessen. Bringt man dann in geringe Distanz vor oder hinter jenem imaginären Blickpunkt ein reelles Objekt, z. B. einen Finger, so tritt augenblicklich ein fast unwiderstehlicher Zwang ein, auf dieses Objekt den Blickpunkt zu verlegen. Dieser Zwang, der nur durch Willensanstrengung unterdrückt werden kann, ist um so größer, je näher das Objekt an den Blickpunkt herangebracht wird. Noch deutlicher ist derselbe zu bemerken, wenn man in einem dunklen Raum ein Fixationsobjekt, z. B. eine Stricknadel, aufstellt, in dessen Richtung beide Augen blicken, und dann durch einen instantanen elektrischen Funken erleuchtet. Hier ist der Zwang zur Einstellung des Blickpunktes auf das gesehene Objekt so stark, daß er kaum durch den Willen zu unterdrücken ist.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß jeder Lichteindruck auf die Netzhaut in dem Innervationszentrum des Auges einen Reflexantrieb

---

nach unten oder hinten gerichtet sein, usw. Vgl. hierzu die Bemerkungen über die Beziehung der totalen und der partiellen Sehnervenkreuzungen zu den binokularen Augenbewegungen Bd. 1, S. 279 ff.

auslöst, der dahin gerichtet ist, den Eindruck auf das Netzhautzentrum überzuführen. Hieraus erklärt sich vollständig das Grundgesetz der Innervation des Doppelauges, daß nur solche Bewegungen der beiden Blicklinien stattfinden, bei denen ein gemeinsamer Blickpunkt möglich ist. Jene Antriebe zur Bewegung können aber entweder eine wirkliche Bewegung hervorbringen, wo dann das Doppelauge den erregenden Lichteindruck zum Fixationspunkte wählt, oder sie können, sei es durch den Willen, sei es durch andere Lichteindrücke, die eine entgegengesetzte Wirkung ausüben, unterdrückt werden, so daß sie als ein bloßes Streben nach Bewegung fortdauern. Der hemmende Einfluß des Willens wird dabei durch denjenigen anderer Lichteindrücke wesentlich unterstützt. Das gewöhnliche willkürliche Wandern des Blicks ist daher nur dadurch möglich, daß immer zahlreiche Lichtreize in ihren Wirkungen sich kompensieren, so daß der geringste Impuls des Willens genügt, eine bestimmte Bewegung zu erzeugen. Damit erklärt sich denn auch die außerordentliche Beweglichkeit des Blicks, die von so schwachen Willensanstößen geleitet wird, daß diese nur dunkel zum Bewußtsein kommen. Hierbei durchmißt der Blick mit Vorliebe Konturen und Linien im Sehfeld, gemäß dem Gesetze, daß diejenigen Eindrücke, die dem jeweiligen Blickpunkt am nächsten liegen, den stärksten Antrieb ausüben.

Auf den zwingenden Einfluß der Gesichtsobjekte auf die Orientierung des Auges ist es wohl auch zurückzuführen, daß unter gewissen Bedingungen beide Augen abnorme Rollungen um ihre Gesichtslinien erfahren oder abweichende Höhenstellungen annehmen können. Wenn man z. B. zwei identische Zeichnungen binokular zur Deckung bringt und dann die eine etwas um den Fixationspunkt dreht, so kann durch Rollungen, an denen sich beide Augen beteiligen, diese Drehung kompensiert werden. Auf diese Weise kann jedes einzelne Auge bis zu 5—7° aus seiner normalen Lage abweichen. Auf solchen kompensierenden Drehungen beruhen wohl auch die oben (S. 594) erwähnten Schwankungen in der Lage der scheinbar vertikalen Netzhautmeridiane, welche DONDERS beobachtete. Abweichende Höhenstellungen lassen sich ferner durch schwach ablenkende Prismen herbeiführen. Bringt man z. B. vor das eine Auge ein Prisma, dessen Basis nach oben oder unten gekehrt ist, so erscheint der fixierte Punkt in übereinander liegenden Doppelbildern, die man mit einiger Anstrengung zum Verschmelzen bringen kann; ebenso wenn beide Augen durch Prismen sehen, deren Basis nach innen gekehrt ist, wo die Doppelbilder nur durch eine Divergenzstellung zur Verschmelzung gelangen können. Diese durch den Zwang der Gesichtsobjekte veranlaßten Stellungsänderungen, die man als »Fusionsbewegungen« bezeichnet, können aber nicht bloß Abweichungen von der normalen Synergie hervorbringen,

sondern auch umgekehrt da, wo die letztere gestört ist, bei geringeren Graden des Schielens, richtige Einstellungen erzwingen. Solche durch schwach ablenkende Prismen unterstützte binokulare Einstellungen werden daher praktisch als Mittel zur Wiederherstellung einer gestörten Synergie benutzt[1].

b. Konvergenz und Akkommodation.

Mit den Konvergenz- und Divergenzbewegungen der Blicklinien sind, wie schon J. MÜLLER beobachtete, Änderungen des Akkommodationszustandes regelmäßig verbunden, indem beide Augen derjenigen Entfernung sich anpassen, auf die der gemeinsame Blickpunkt eingestellt wird[2]. Allerdings ist auch dieser Zusammenhang kein unlösbarer, sondern es kann durch Veränderungen des Brechungszustandes oder durch absichtliche Einübung das Verhältnis von Akkommodation und Konvergenz ziemlich bedeutende Verschiebungen erfahren. Wenn man z. B. durch schwache Prismen mit vertikal gestellter brechender Kante Doppelbilder der gesehenen Gegenstände erzeugt, die eine verstärkte Konvergenz zu ihrer Vereinigung erfordern, so kann trotzdem die Akkommodation der Entfernung der Objekte angepaßt werden[3]. Dabei erfolgt aber auch diese abnorme Einstellung nicht sowohl durch einen direkten Willenseinfluß, als vielmehr durch einen Zwang, den undeutlich gesehene Konturen auf den Akkommodationsmechanismus ausüben, so daß sich wohl die Entstehung der normalen Synergie zwischen Akkommodation und Konvergenz ebenfalls auf den doppelten Zwang zurückführen läßt, den einerseits das Objekt auf die Blickbewegung, und den anderseits der diffuse Eindruck desselben auf die Akkommodationsbewegung äußert[4]. Übrigens gelingt es im allgemeinen viel schwerer, die Refraktionszustände beider Augen unabhängig voneinander zu ändern, als die Verbindung von Akkommodation und Konvergenz zu lösen. Hieraus ist zu schließen, daß die Akkommodationsbewegungen beider Augen durch einen festeren Innervationsmechanismus verbunden sind als die Akkommodation und die Konvergenz. Aus dem so entstehenden Zusammenwirken dieser in der Regel automatisch tätigen Innervationszentren erklärt es sich aber, daß, wenn das eine Auge verdeckt oder geschlossen ist, normalerweise die Blicklinie und die Refraktion

---

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 475, [2] S. 632. A. GRAEFE, in GRAEFE und SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde[2], Bd. 8, S. 38 ff. HOFMANN und BIELSCHOWSKY, PFLÜGERS Archiv, Bd. 80, 1900, S. 1 ff.

[2] J. MÜLLER, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, S. 207 f.

[3] DONDERS, Holländische Beiträge, Bd. 1, S. 379. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 474.

[4] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 119 f.

des nicht sehenden Auges sich gleichzeitig auf den Fixier- und Akkommodationspunkt des sehenden Auges einstellen.

Führt man nun solche Versuche mit bloß monokularer Fixation unter verschiedenen Bedingungen aus, so ergibt sich, daß jene Verbindung insofern eine doppelseitige ist, als sowohl die Konvergenz auf die Akkommodation wie umgekehrt diese auf jene einwirken kann. Dabei ist aber im allgemeinen der Konvergenzmechanismus unter beiden der empfindlichere, und demgemäß stellt sich die Akkommodation genauer nach einem bestimmt fixierten Konvergenzzustand ein, als umgekehrt die Konvergenz nach der Akkommodation. Die im Grundriß angedeuteten Versuchsanordnungen *A* und *B* in Fig. 300 bieten die Möglichkeit, in diesem Sinne die Bedingungen zu verändern. Ein dünner Seidenfaden *F*

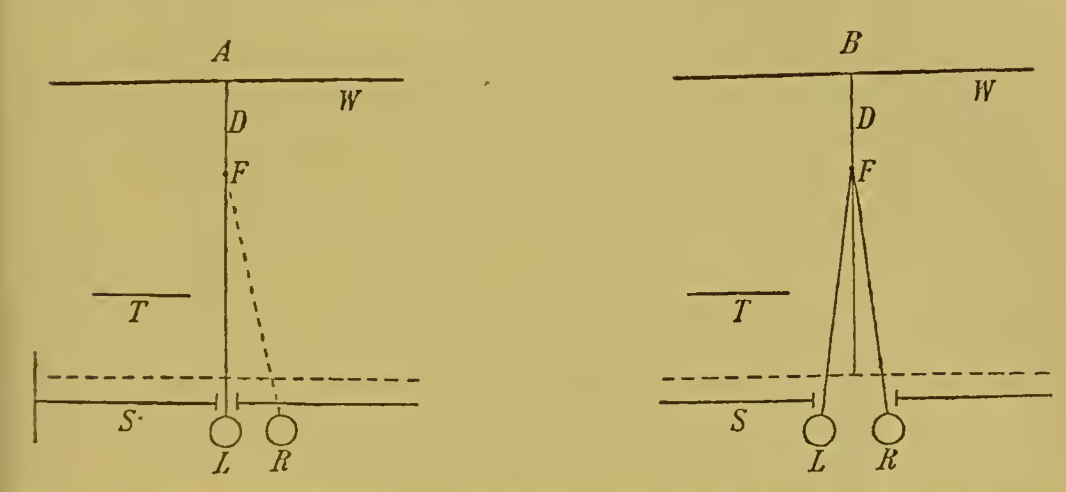


Fig. 300. Versuchsanordnungen für Akkommodations- und Konvergenzunterscheidungen.

ist an einem in der Höhe ausgespannten, dem Beobachter unsichtbaren Draht zwischen diesem und einer entfernten weißen Wand *W* so aufgehängt, daß er an einer Millimeterteilung beliebig genähert oder weiter entfernt werden kann. Die Anordnung *A* ist so getroffen, daß sich der Faden in der Richtung des vertikalen Netzhautmeridians des gerade nach vorn blickenden Auges *L* bewegt. Dieses Auge blickt durch eine kurze enge Röhre in dem Schirm *S*, der das andere Auge *R* verdeckt. Ein beweglicher Schirm *T*, der in der Figur zur Seite geschoben ist, dient dazu, auch das Auge *L* für einen Moment während der Verschiebung des Fadens *F* zu verdecken. Selbstverständlich ist übrigens der Gesichtswinkel des Fadens so klein, daß die Änderungen desselben erheblich unter der oben (S. 532) erwähnten Raumschwelle bleiben, und daß also Veränderungen in der Distanz des Fadens vom Auge weder an den Änderungen des Gesichtswinkels noch, da das Netzhautbild bei dieser Ver-

suchsanordnung seine Lage beibehält, an einer Bewegung des Bildes auf der Netzhaut erkannt werden können. Da nun infolgedessen der äußere Muskelapparat des fixierenden Auges *L* in Ruhe bleibt, so kann von ihm kein Antrieb zu verstärkter oder verminderter Konvergenz auf das andere Auge *R* ausgehen. Trotzdem beobachtet man, daß auch in diesem Fall *R* seine Blicklinie annähernd entsprechend der Entfernung des fixierten Punktes *F* einstellt, falls nur die Abweichung von der symmetrischen Konvergenz nicht zu groß ist (S. 630). Dies kann also nur dadurch geschehen, daß die Akkommodation von *L* zunächst die von *R* und dann diese wieder, gemäß der regulären Innervationsverbindung, die Konvergenz von *R* bestimmt. Hieraus ergibt sich, daß die Verbindung zwischen beiden Einstellungsapparaten nicht bloß in der Richtung von der Konvergenz zur Akkommodation, sondern innerhalb gewisser Grenzen auch umgekehrt in der von der Akkommodation zur Konvergenz wirksam ist.

Wesentlich anders liegen die Versuchsbedingungen bei der Anordnung *B*. Hier blicken beide Augen durch einen Schlitz des Schirmes *S* nach dem in der Sagittalebene des Kopfes verschiebbaren Faden *F* und sind daher auf diesen in symmetrischer Konvergenz eingestellt. Der bewegliche Schirm *T* kann auch hier in jedem Augenblick den Faden verdecken, bevor Translationen desselben vorgenommen werden. Wieder gehen hier Akkommodation und Konvergenz zusammen. Die Einstellung beider ist aber zugleich eine präzisere und raschere als bei der Anordnung *A*. Obgleich also allem Anscheine nach die Innervationsverbindung in der einen wie in der andern Richtung wirken kann, so ist doch offenbar die Wirkung der Konvergenz auf die Akkommodation die sicherere und exaktere. Stellt man nun bei diesen Anordnungen Versuche über die Unterschiedsschwelle für Distanzänderungen des Fadens an, indem man die zu vergleichenden Einstellungen jedesmal wieder durch Vorschieben des beweglichen Schirmes *T* voneinander trennt, so sind natürlich in *B* die Bedingungen wesentlich andere als in *A*, und demnach zeigen auch die Ergebnisse sehr große Unterschiede, wie die beiden folgenden Versuchsreihen zeigen. In denselben bezeichnet *S* die Entfernung des Fadens vom Beobachter in cm, *U* die absolute Unterschiedsschwelle. Bei den Konvergenzversuchen *B* gibt ferner *s* die zu *S* gehörigen Werte des Winkels an, den die Blicklinie mit der horizontalen Verbindungslinie beider Drehpunkte bildet, *u* die aus *U* berechneten Winkelwerte, und *v* endlich die relativen Unterschiedsschwellen.

A		*B*				
S	*U*	*S*	*s*	*U*	*u*	*v*
250	12	180	89° 2,5′	3,5	68″	1/50
220	10	170	88° 59′	3	66″	1/55
200	8	160	88° 55,5′	3	73″	1/54
180	8	150	88° 51′	3	85″	1/48
100	8	130	88° 40,5′	2	74″	1/64
80	5	110	88° 26′	2	104″	1/54
50	4,5	80	87° 51′	2	199″	1/39
40	4,5	70	87° 32,5′	1,5	193″	1/45
		60	86° 34′	1	252″	1/50

Entscheidend für die Deutung dieser Ergebnisse sind nun teils die subjektiven Beobachtungen bei den Versuchen, teils aber auch die aus den beidemal gewonnenen Unterschiedsschwellen zu ziehenden Schlüsse. Subjektiv nimmt man zunächst wahr, daß die *A*-Versuche anstrengender sind als die *B*-Versuche. Bei beiden hat man bestimmte Empfindungen im Auge, die bei *A* deutlich an die Akkommodationsanstrengung, bei *B* mehr an die Konvergenzstellung geknüpft zu sein scheinen. Auch in den *B*-Versuchen bemerkt man aber weder Doppelbilder noch eine Dislokation des Netzhautbildes; beides wird offenbar dadurch ausgeschlossen, daß die Versuche durch das Vorschieben des Schirmes *T* den Charakter sogenannter »Gedächtnisversuche« mit sehr kurzer Zwischenzeit zwischen den zu vergleichenden Eindrücken gewinnen. Am schlagendsten zeigen jedoch die Ergebnisse der Versuche selbst, daß bei ihnen Bildverschiebungen oder Doppelbilder keine maßgebende Rolle spielen können, da in diesem Fall der Gang der Unterschiedsschwelle bei den *B*-Versuchen ein völlig anderer sein müßte, als er wirklich ist. Die Unterschiedsschwelle für Netzhautdistanzen im direkten Sehen ist nämlich eine von der Tiefenentfernung der Objekte an sich unabhängige, lediglich durch die Werte der Sehschärfe (S. 532 f.) bestimmte Größe. Demnach müßten die Schwellenwerte u für alle Distanzen mindestens annähernd von absolut gleicher Größe sein, und sie müßten den bekannten Schwellenwerten der Sehschärfe etwa gleichkommen. In Wahrheit sind aber die Schwellen u durchaus nicht konstant, sondern sie nehmen enorm zu mit wachsender Annäherung. Auch gibt es nur einen einzigen Fall, wo sie mit den Schwellenwerten der Sehschärfe wirklich annähernd übereinstimmen: nämlich bei den größten Entfernungen, wo der Konvergenzgrad ein minimaler ist, und wo $u = 68''$ mit dem nach der gewöhnlichen Methode gewonnenen Sehschärfenwinkel von 60—90″ gut übereinstimmt. Dazu kommt ein anderes sehr bemerkenswertes Ergebnis: die *B*-Versuche zeigen nämlich erstens eine Konstanz nicht der absoluten, sondern der **relativen** Unterschiedsschwellen, in Übereinstimmung mit dem WEBERschen Gesetze; und die Unterschiedskonstante, die sie ergeben, stimmt zweitens

überein mit der nach der gleichen Methode der minimalen Änderungen gewonnenen Unterschiedskonstante für Vergleichung linearer Distanzen nach dem Augenmaß (S. 574). Daraus ist zu schließen, daß es die intensiv abgestuften, in die Klasse der inneren Tastempfindungen (Gelenk- und Muskelempfindungen) gehörenden Konvergenzempfindungen sind, welche bei den angeführten binokularen Sehversuchen die Unterscheidung der Tiefendistanzen vermitteln, und daß sich bei den Augenmaßversuchen nach den gleichen Empfindungen die Genauigkeit der Distanzvergleichungen richtet. Bei monokularem Sehen tritt dann wahrscheinlich in einem gewissen, wenngleich sehr unvollkommenen Grade die Akkommodationsanstrengung als Ersatz ein, die aber regelmäßig zugleich an der infolge der Synergie zwischen Akkommodation und Konvergenz eintretenden Konvergenzänderung eine Unterstützung gewinnen kann.

Unter dem Einfluß der Lehre, daß die Lokalisationen der Gesichtsobjekte schlechthin unabhängig erfolgten von den die Bewegungen des Auges begleitenden Empfindungen, nehmen HERING und seine Schüler auch für die Beziehungen zwischen Konvergenz und Akkommodation nur einen einseitigen, von der Konvergenz zur Akkommodation, niemals umgekehrt von dieser zu jener gerichteten Zusammenhang an. Es scheint mir aber, daß die bei der obigen Versuchsanordnung *A* zu beobachtenden Erscheinungen eine solche Wechselbeziehung unzweideutig beweisen, während sie allerdings zusammengehalten mit den *B*-Versuchen für das normale Übergewicht der Konvergenzeinflüsse sprechen, wie ein solches nach Beobachtungen am atropinisierten Auge und bei Schielstörungen auch A. GRAEFE annahm[1]. Auf Grund der HERINGschen Anschauungen suchte dagegen F. HILLEBRAND die obigen Versuche durch die Voraussetzung zu interpretieren, daß bei der *A*-Anordnung das wirksame Motiv die Konvergenzbewegung, bei der *B*-Anordnung die Disparation der Netzhautbilder sei. Bei den ersteren hielt er dann, neben den (durch die Versuchsweise, wie oben bemerkt, ausgeschlossenen) Änderungen des Gesichtswinkels, den »Willen« zur Einstellung der Blicklinien auf einen bestimmten Punkt des Sehraums für das ausschlaggebende Motiv[2]. In Versuchen, die er an zahlreichen Beobachtern ausführte, fand dann hinwiederum M. ARRER die obigen Ergebnisse meiner älteren Versuche, und namentlich auch die aus der Disparation der Netzhautbilder nicht zu erklärende Konstanz der relativen Unterschiedsschwelle, bei verhältnismäßig geringen Unterschieden in dem Werte der letzteren, bestätigt[3]. Gänzlich außer Rücksicht scheint endlich bei den

---

[1] GRAEFE, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 35, 1, 1888, S. 137. 4, S. 332 ff. LANDOLT, ebend. 3, S. 265 ff.

[2] F. HILLEBRAND, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 7, S. 97. Bd. 16, S. 104.

[3] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 114, 194. M. ARRER, Philos. Stud. Bd. 13, 1896, S. 116, 222 ff. Vgl. dazu meine Bemerkungen Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 13. Im wesentlichen zu denselben Ergebnissen, namentlich mit Rücksicht auf die Zunahme der absoluten Unterschiedsschwelle mit wachsender Annäherung, kam auch BOURDON bei Versuchen, bei denen er durch mehrere irreguläre Blickbewegungen, die zwischen die einzelnen Versuche eingeschaltet waren, den Einfluß einer Disparation

die Tiefenvorstellungen ausschließlich aus dem Binokularsehen ableitenden Theorien der vergleichend physiologische Gesichtspunkt geblieben zu sein. Hier ist es denn doch beachtenswert, daß unter den Vögeln gerade diejenigen, die durch die raumdurchdringende Kraft ihres Sehorgans vor andern sich auszeichnen, bei ihren seitlich gestellten Augen der binokularen Synergie offenbar entbehren, dafür aber infolge der stark deformierbaren, massigen Linse und der Ausbildung des zugehörigen, aus quergestreiften Fibrillen bestehenden Muskelapparats über einen hoch ausgebildeten Akkommodationsmechanismus verfügen[1].

c. Einfluß der binokularen Blickbewegungen auf die Lokalisation im Sehfeld.

Wenn beide Blicklinien einander parallel in unendliche Ferne gerichtet sind, so haben sie einen gemeinsamen Blickpunkt. Außerdem sind die Netzhautbilder in beiden Augen gleich und von übereinstimmender Lage. Ein Bildpunkt, der sich im rechten Auge um einen bestimmten Winkel nach rechts oder links, nach oben oder unten von der Netzhautmitte befindet, liegt im linken auf der nämlichen Seite und ebenso weit vom Zentrum des gelben Flecks. Je zwei Punkte beider Netzhäute, auf denen so bei der Parallelstellung der Augen Bildpunkte liegen, die einem und demselben Punkte eines unendlich entfernten Objektes entsprechen, pflegt man seit JOH. MÜLLER identische oder korrespondierende Punkte zu nennen. HELMHOLTZ hat statt dessen den Ausdruck Deckpunkte vorgeschlagen, dabei aber von der Lage ganz abstrahiert und nur auf die häufigste Form der Verschmelzung der Eindrücke Rücksicht genommen; darum entsprechen die von HELMHOLTZ angenommenen Deckpunkte nicht vollkommen den identischen Punkten MÜLLERs[2]. Man sieht aber, daß bei diesen Bezeichnungen zwei Begriffe ineinander laufen, die der deutlichen Sonderung bedürfen: ein anatomischer, der sich lediglich auf die Lage der Punkte, und ein physiologischer, der sich auf die gewöhnlichste Form der Verschmelzung der Eindrücke bezieht. Es scheint daher wünschenswert, diese zwei Begriffe durch verschiedene Bezeichnungen auseinander zu halten und außerdem noch einen dritten zu unterscheiden. Wir wollen demnach 1) identisch jene Netzhautpunkte nennen, die bei

---

der Netzhautbilder zu eliminieren suchte. (BOURDON, La perception visuelle de l'espace, 1902, p. 234.) HILCKER fand, als er nach der Anordnung *A* Beobachtungen an zahlreichen Individuen mit abnormen Brechungszuständen der Augen ausführte, daß durch die letzteren, ebenso wie durch vorangegangene Ermüdung der Akkommodation, die Unterschiedsempfindlichkeit bedeutend beeinträchtigt wird, was ebenfalls für einen direkten Einfluß der Akkommodationsanstrengung in diesem Falle spricht. (HILCKER, Versuche über die Fähigkeit der Schätzung nach der Tiefendimension. Dissert. Marburg. 1889.)

[1] R. BERLIN, Zeitschrift für vergl. Augenheilkunde, Bd. 7, 1891, S. 22.

[2] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 698, [2] S. 844.

der Parallelstellung der Augen eine übereinstimmende Lage in bezug auf das Netzhautzentrum besitzen, und die zugleich übereinstimmenden Bildpunkten eines unendlich entfernten Objekts entsprechen. 2) Korrespondierende Punkte seien solche, deren Eindrücke am häufigsten in eine räumlich ungeteilte Vorstellung verschmelzen, und die daher infolge dieser häufigen Verbindung in bezug auf die einfache Auffassung bevorzugt sind. 3) Deckpunkte sollen endlich diejenigen Punkte heißen, deren Eindrücke im gegebenen Fall auf einen äußeren Punkt bezogen werden. Somit sind die korrespondierenden Punkte sehr oft zugleich die Deckpunkte; sie sind dies aber nicht immer, und hieraus entspringt die Notwendigkeit einer besonderen Bezeichnung. Die identischen Punkte haben für alle normalen Augen unveränderlich dieselbe Lage. Die korrespondierenden sind geringen individuellen Schwankungen unterworfen: sie fallen bald mehr bald weniger nahe mit den identischen Punkten zusammen, für ein und dasselbe Individuum aber sind sie im allgemeinen konstant. Die Lage der Deckpunkte dagegen wechselt von einem Sehakt zum andern, und nur durch die gewöhnlichen Bedingungen des Sehens sind der wechselseitigen Verschiebung der Deckpunkte gewisse Grenzen gesetzt. Netzhautpunkte von nicht übereinstimmender Lage heißen disparat; solche, deren Bilder sich nicht decken, wollen wir Doppelpunkte nennen. Disparat steht also zu identisch, der Doppelpunkt zum Deckpunkt im Gegensatz. Eine größere Anzahl von Doppelpunkten bildet ein Doppelbild. Dieses besteht aus zwei Halbbildern, deren jedes einem einzelnen Auge angehört. Aus vielen Deckpunkten setzt sich ein Deckbild oder Ganzbild zusammen. Da wir alle Netzhautbilder auf äußere Gegenstände beziehen, so ist es auch hier zweckmäßig, diese Bezeichnungen von der Netzhaut auf den äußeren Raum zu übertragen. Wir nennen also identische, korrespondierende und Deckpunkte des Raumes solche Punkte, in denen sich die von identischen, korrespondierenden und Deckpunkten beider Netzhäute gezogenen Visierlinien durchschneiden. Die Ebene, in welcher die beiden Visierlinien liegen, heißt dabei die Visierebene. Sind zwei zusammengehörige Visierlinien einander parallel, so liegt ihr Durchschnittspunkt in unendlicher Ferne. Bei Parallelstellungen durchschneiden sie also alle Visierlinien identischer Punkte in unendlicher Ferne. Einen einzigen Punkt im Sehfeld gibt es aber, der im normalen Auge immer gleichzeitig identischer, korrespondierender Punkt und Deckpunkt ist: dies ist der Blickpunkt. Er ist der konstante Durchschnittspunkt der beiden Gesichts- oder Blicklinien, mögen nun dieselben erst in unendlicher Entfernung, bei den Parallelstellungen des Blicks, oder in endlichen Entfernungen, bei den Konvergenzstellungen, sich treffen. Was die übrigen Punkte des Sehfeldes betrifft, so kommt es teils auf die Augenstellung

teils auf die Gestalt des Sehfeldes an, ob identische, korrespondierende Punkte und Deckpunkte zusammenfallen oder nicht. Nun haben wir gesehen, daß die Form des Sehfeldes an und für sich eine unbestimmte ist und erst durch die Bewegungen des Blicks, also durch die sukzessiven Verschiebungen im Blickfelde, eine bestimmte wird. Darum kommt, wo andere Bestimmungsgründe fehlen, das Sehfeld überein mit dem kugelförmigen Blickfeld. Dieses ist für das Doppelauge ebenfalls eine einzige Hohlkugelfläche, nämlich diejenige, welche der gemeinsame Blickpunkt in paralleler oder in einer beliebigen andern Augenstellung mit konstant bleibendem Konvergenzgrad durchwandern kann. Der Mittelpunkt dieser Kugelfläche ist der Halbierungspunkt der Geraden, welche die Drehpunkte beider Augen verbindet. Daher bestimmt das Doppelauge im allgemeinen von diesem Punkte aus, den wir den Orientierungspunkt nennen wollen, *m* Fig. 301, und nach den von ihm aus gezogenen Geraden, den Orientierungslinien, die Richtung der Gegenstände. Die Entfernung *rl* der beiden Visierpunkte wird dann die Grundlinie der Visierebene oder die Basaldistanz des Doppelauges genannt. Sie beträgt beim Menschen durchschnittlich etwa 6 cm. Ein binokular fixierter Punkt *a* erscheint uns demnach in der Richtung *ma*, so als wenn er von einem im Punkte *m* gelegenen einfachen Auge gesehen würde[1]. Diese Bestimmung der Richtungen, wie sie sich infolge des binokularen Sehens ausgebildet hat, pflegt in der Regel sogar dann noch entscheidend zu bleiben, wenn wir das eine Auge verschließen. Fixiert man bei geschlossenem rechtem Auge mit dem linken *l* zuerst einen ferneren Punkt *a'* und dann den näheren *a*, so scheint daher, obgleich die Richtung der Blicklinie *la* ungeändert geblieben ist, der Punkt *a* nach links abzuweichen, was der Bewegung der mittleren Blickrichtung aus der Stellung *ma'* nach *ma* entspricht. Zugleich ändert sich hierbei die Rollung des Auges *l* im selben Sinne, wie sie sich ändern würde, wenn man bei binokularem Sehen von einer geringeren zu einer stärkeren Konvergenz überginge[2].

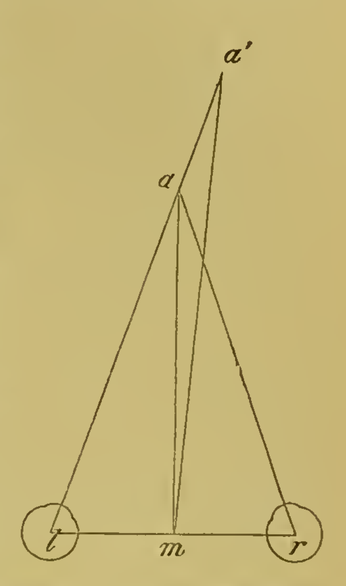


Fig. 301. Orientierungslinie im Sehraum.

[1] HERING, Beiträge zur Physiologie, S. 35 ff. REICHERTS und DU BOIS-REYMONDS Archiv, 1864, S. 27 ff. Vgl. auch DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 17, 2, 1871, S. 52.

[2] Übrigens trifft diese Lokalisation in einer mittleren Sehrichtung nur für den Blickpunkt strenge zu, während bei den auf den Seitenteilen der Netzhaut gelegenen Punkten Abweichungen des Punktes *m* nach der Seite desjenigen Auges vorzukommen scheinen,

Wenn Objekte von beliebiger Form sich im Sehfeld befinden, die sukzessiv bei wechselnder Konvergenz fixiert werden müssen, so bildet sich nun das Sehfeld des Doppelauges sichtlich unter dem unmittelbaren Einflusse der Konvergenzbewegungen. Indem sich mit den wechselnden Konvergenzgraden Empfindungen verbinden, die, wie wir oben sahen, ein innerhalb der Grenzen deutlicher Sehweite relativ scharfes Maß für die Entfernungsverhältnisse der sukzessiv fixierten Punkte vom Sehenden enthalten, gewinnt das binokulare Sehfeld in der Regel annähernd diejenige Form, in welcher die gesehenen Punkte wirklich im Verhältnis zum Sehenden angeordnet sind. Denken wir uns daher nach dem Sehfelde Visierlinien gezogen, so treffen je zwei, die sich auf der Sehfeldfläche schneiden, mögen dieselben nun von identischen oder disparaten Netzhautpunkten ausgehen, dort einen Deckpunkt. Denn für jedes Auge gibt die Visierlinie diejenige Richtung an, in der ein Bildpunkt nach außen verlegt wird, und das Sehfeld ist diejenige Oberfläche, auf der wir uns im äußeren Raume die Lichteindrücke geordnet vorstellen (S. 545 f.). Wenn demnach jene Richtungen im Sehfeld zusammentreffen, so müssen sich auch die Bildpunkte decken. Aber es ist natürlich nicht notwendig, daß die sich schneidenden Visierlinien identischen Punkten angehören. Es sei z. B. (Fig. 302) das Sehfeld eine zur Visierebene senkrechte Ebene AB, und die Blicklinien ac, bc seien auf den Blickpunkt c eingestellt. Es ist dann der Punkt γ ein identischer Punkt des äußeren Raumes, denn in ihm treffen sich die Visierlinien identischer Netzhautpunkte α, β. Dagegen ist der Punkt δ ein Deckpunkt im Sehfeld: in ihm schneiden sich aber zwei Visierlinien, die von disparaten Punkten β, β' ausgehen. Geben wir jetzt dem Sehfeld die Lage $A'B'$, so wird der Punkt γ ein identischer und zugleich ein Deckpunkt. Und ebenso wie hier durch Veränderungen in der Lage oder Form des Sehfeldes, so kann natürlich auch durch veränderte Augenstellung das Verhältnis der Deckpunkte zu den identischen Punkten wechseln. Den Unterschied der beiden Winkel, den die zu einem und demselben Deckpunkt gehörigen Visierlinien, wie $\beta\delta$ und $\beta'\delta$, mit den Netzhautzentren bilden, kann man hiernach als die binokulare Parallaxe bezeichnen.

---

auf dessen nasaler Netzhauthälfte das Bild liegt. (SCHOEN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 22, 4, 1876, S. 31. Bd. 24, 1, 1878, S. 27.) Ferner beobachtete J. VON KRIES, daß bei unwillkürlichem Divergenzschielen, wenn die binokulare Fixation erhalten bleibt, ein Wettstreit der Sehrichtungen eintritt, wobei bald das eine bald das andere Auge überwiegen kann. So herrscht bei VON KRIES beim Nahesehen das linke, beim Fernsehen das rechte Auge vor. Demgemäß ist im ersten Fall das Zentrum der Sehrichtungen nach links, im zweiten nach rechts verschoben. (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 24, 4, 1878, S. 117.) Übereinstimmend damit beobachtete ich bei mir selber, daß infolge der Ausbildung eines zentralen Skotoms in meinem rechten Auge die Orientierungslinie allmählich vollständig mit der Blicklinie des linken Auges zusammenfiel.

Da die Visierlinien, namentlich bei entfernteren Objekten, von den Richtungsstrahlen nicht merklich verschieden sind, so sind die Deckpunkte dann zugleich Objektpunkte, wenn das subjektive Sehfeld dieselbe Form hat, welche die dem Sehenden zugekehrte Oberfläche der Objekte darbietet. Es wurde schon oben bemerkt, daß dies im allgemeinen zwar der Fall ist, und deshalb sieht eben das Doppelauge in der Regel nicht doppelt sondern einfach. Aber dies schließt zahlreiche Abweichungen im einzelnen nicht aus, ja unter Umständen, wenn die gewöhnlichen Hilfsmittel versagen, können wir vollständig über das Lageverhältnis der Gegenstände getäuscht werden. Fällt nun unser subjektiv erzeugtes Sehfeld mit der

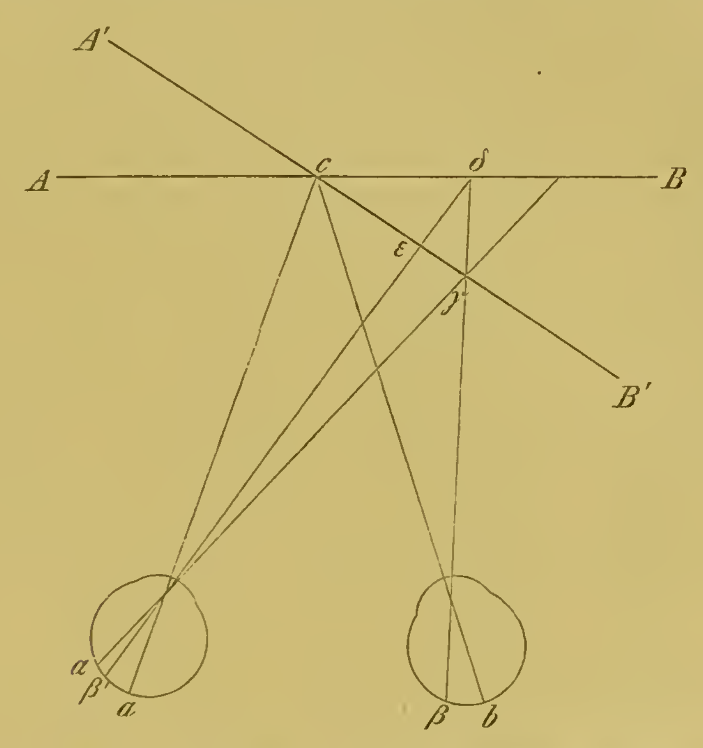


Fig. 302. Verhältnis der Deckpunkte zu den identischen Punkten im Sehfeld.

objektiv gegebenen Oberfläche der Objekte nicht zusammen, so schneiden sich in irgendeinem Punkte desselben im allgemeinen nur noch solche Visierlinien, die verschiedenen Objektpunkten angehören. Es sei z. B. die Ebene A' B' (Fig. 302) unser Sehfeld, die Oberfläche der Objekte sei aber die Ebene A B, so entsprechen dem Objektpunkte δ zwei Punkte γ und ε im Sehfeld. In solchen Fällen wird dann in der Tat ein in Wirklichkeit einfacher Punkt doppelt gesehen. Nennen wir das Sehfeld in der bisher festgehaltenen Bedeutung, also diejenige Form desselben, die wir uns infolge der Blickbewegungen und Konvergenzempfindungen vorstellen, das subjektive Sehfeld, und bezeichnen wir die wirkliche Form der uns zu-

gekehrten Oberfläche der Gegenstände als das objektive Sehfeld, so gilt daher die Regel: Wir sehen einfach, soweit das objektive mit dem subjektiven Sehfeld übereinstimmt; diejenigen Punkte des objektiven Sehfeldes aber erscheinen uns doppelt, die nicht in dem subjektiven Sehfeld gelegen sind.

Das gewöhnlichste Mittel, das subjektive übereinstimmend mit dem objektiven Sehfeld zu gestalten, wenn die unmittelbaren Empfindungen hierzu nicht ausreichen, besteht nun in der sukzessiven binokularen Fixation verschiedener Punkte, wo wir das Zwischenliegende in annähernder Richtigkeit zur vollständigen Form ergänzen. Wenn das objektive Sehfeld eine sehr verwickelte Form hat, so können daher einzelne Teile desselben dem ruhenden Auge doppelt erscheinen, dann aber durch einige Blickbewegungen leicht in eine einfache Vorstellung vereinigt werden, die jetzt auch für den ruhenden Blick einfach bleibt. Dies geschieht namentlich dann sehr leicht, wenn sich der Blick auf bestimmten Fixationslinien in wechselnder Konvergenz zwischen Punkten von verschiedener Tiefenlage bewegen kann. Dagegen pflegt Doppelsehen einzutreten, wenn man einen Blickpunkt wählt, der von den übrigen Punkten des Sehfeldes vollständig getrennt ist, also vor oder hinter denselben liegt, ohne mit ihnen durch eine Fixationslinie verbunden zu sein. Befindet sich z. B. ein Objekt in a (Fig. 303), und sind die beiden Blicklinien auf den näher liegenden Punkt c eingestellt, so sieht man bei a_1 und a_2 Doppelbilder des Punktes a; davon gehört a_1 dem Auge r, a_2 dem Auge l an, wie man sich dadurch überzeugen kann, daß, wenn r geschlossen wird, a_1, wenn l geschlossen wird, a_2 verschwindet. Die Doppelbilder sind also in diesem Fall gleichseitige. Ist das Auge auf den ferner liegenden Punkt b eingestellt, so werden wieder statt des Objektes a Doppelbilder α_1 und α_2 gesehen: jetzt gehört aber α_2 dem Auge r, α_1 dem Auge l an, wie man abermals durch abwechselndes Schließen derselben erkennt. Die Doppelbilder sind also ungleichseitige oder gekreuzte. In allen diesen Fällen werden die Doppelbilder in der Regel nicht in die Entfernung des Blickpunktes b oder c, sondern in eine etwas variable Distanz verlegt, die von Faktoren des monokularen Sehens, namentlich von der Akkommodation und vielleicht zum Teil auch von der Wirkung dieser auf die Kon-

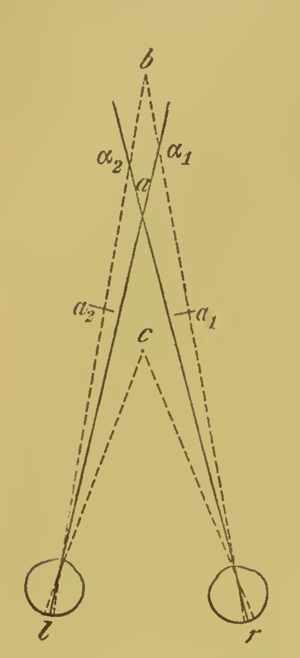


Fig. 303. Gleichseitige und gekreuzte Doppelbilder.

vergenzinnervation abzuhängen scheint. In den Versuchen von R. A. PFEIFER war, um diese scheinbaren Distanzverhältnisse der Doppelbilder genauer festzustellen, durch einen Spiegelapparat die Einrichtung getroffen, daß ein Fixationspunkt plötzlich verschwinden konnte, während ein in Doppelbildern gesehener fernerer oder näherer Punkt stehen blieb und die scheinbare Tiefenlage der Doppelbilder mittels einer an einem Maßstab verschiebbaren Vergleichsmarke gemessen werden konnte[1]. Dabei ergab sich, daß die gleichseitigen Doppelbilder stets in weit größere Entfernung verlegt werden als das in die Doppelbilder zerfallende Objekt; und mit dem Abstand des letzteren vom Blickpunkt nahm dieser Fehler fortwährend zu und dagegen bei konstanter Entfernung des Objekts und zunehmender des Fixationspunktes vom Beobachter ab. Etwas komplizierter verhielten sich die gekreuzten Doppelbilder. Zunächst wurde auch hier, so lange die Distanz der Blickpunkte 150 cm oder mehr betrug, die Entfernung der Doppelbilder vom Beobachter überschätzt. Rückte der Fixierpunkt näher, so ging dieser Fehler durch eine Phase annähernder Gleichschätzung in eine Unterschätzung über. Dabei blieb im ganzen die Abweichung von der Wirklichkeit bei den gekreuzten Doppelbildern kleiner als bei den ungekreuzten. Dagegen traten bei den ersteren nicht selten pseudoskopische Effekte auf: das soeben noch in die Nähe verlegte Objekt schien plötzlich in große Ferne zu fliehen und dann wieder eine umgekehrte Inversion zu erfahren[2]. Ähnliche Inversionen zeigten zwar auch die ungekreuzten Doppelbilder; doch waren sie hier von geringerem Grade. Diese Erscheinungen bedürfen zum Teil noch der näheren Erforschung ihrer Bedingungen. Im ganzen wird man aber annehmen dürfen, daß sie hauptsächlich von der Inkongruenz zwischen der Akkommodation auf den Fixierpunkt und der Entfernung des in Doppelbilder zerfällten Objekts herrühren. Indem jene bewirkt, daß das letztere in Zerstreuungskreisen erscheint, wird dessen Entfernung nach der für undeutlich gesehene Objekte geltenden Regel überschätzt, gleichgültig, ob die Doppelbilder gleichseitige oder gekreuzte sind. Das Umspringen der letzteren in größerer Nähe sowie die Inversionserscheinungen erklären sich daher aber wohl aus den gleichen Wirkungen einer überangestrengten Akkommodation, die unter etwas andern Bedingungen die Erscheinungen der Mikropsie und Makropsie hervorbringen können. Auch diese beruhen auf Störungen der Akkommodation. Insbesondere pflegt die am häufigsten beobachtete unter ihnen, die Mikropsie, die regelmäßige Begleiterin einer Akkommodationsparese zu sein, wie sie z. B. bei

[1] R. A. PFEIFER, Psychol. Stud. Bd. 2, 1907. Vgl. die genauere Beschreibung des Apparates ebend. S. 158 ff.

[2] PFEIFER, a. a. O. S. 166 ff.

der Atropinwirkung oder auch bei starker Akkommodationsermüdung vorkommt. Plötzlich erscheinen hier in der Nähe betrachtete Objekte stark verkleinert, während sie zugleich in große Entfernung verlegt werden. Wahrscheinlich ist dabei der letztere Effekt eine durch die Assoziation mit bekannten Objekten entstehende sekundäre Wirkung. Man verlegt z. B. einen Menschen infolge der Überanstrengung der Akkommodation in viel zu große Nähe, so daß im monokularen Sehen sein Bild verkleinert erscheint; dann aber wird wiederum dieses Bild infolge der durch diese Verkleinerung ausgelösten Assimilationen nicht auf einen wirklichen Menschen, sondern etwa auf ein an der fernen Wand hängendes Porträt bezogen. Entgegengesetzt der die Akkommodation erschwerenden Wirkung des Atropin verhält sich das Eserin, dessen Einträufelung einen Akkommodationskrampf verursacht, der nun umgekehrt mäßig ferne Objekte vergrößert erscheinen läßt, offenbar weil hier bei der Akkommodation auf das Objekt die sonst erforderliche Akkommodationsanstrengung fehlt, so daß eine Einstellung auf einen fernen Punkt vorgetäuscht wird, und diese läßt das Objekt selbst entsprechend dieser größeren Distanz bei gleichbleibender Größe des Netzhautbildes vergrößert erscheinen[1]. In den Versuchen über die Lokalisation gekreuzter Doppelbilder haben wir es nun gewissermaßen mit Korrelaterscheinungen solcher aus den analogen Akkommodationsstörungen entspringenden Fälle von Mikropsie und Makropsie zu tun. Ein wesentlicher Unterschied besteht aber darin, daß diese letzteren Abnormitäten des Sehens regelmäßig an bekannten Objekten der Umgebung sich äußern, wo nun die durch die veränderte Entfernungsschätzung sich aufdrängenden scheinbaren Größenänderungen der Objekte zunächst sich aufdrängen und dann neben ihnen noch der Assoziation mit andern ähnlichen Objekten ein entscheidender Einfluß zukommen kann. Die Punkte und Linien dagegen, deren man sich bei den Doppelbildversuchen bedient, bieten im allgemeinen solche Anlehnungen an bekannte Gegenstände nicht dar: ihre absolute Größe bleibt unbestimmt, und das Schwergewicht der Akkommodationseinflüsse fällt daher auf die Entfernungsvorstellungen selbst, wo daher, je nachdem paretische und spastische Zustände miteinander wechseln, ein und dasselbe Doppelbild bald in große Nähe bald in weite Ferne rücken kann. In allem dem geben sich zugleich alle diese Erscheinungen als monokulare Tiefenvorstellungen zu erkennen, die eben dadurch entstehen, daß die binokulare Synergie auf-

---

[1] AUBERT, Physiologie der Netzhaut, S. 329. DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 17, 2, 1871, S. 27. KOSTER, ebend. Bd. 42, 3, 1896, S. 134. Übrigens herrschen bei diesen Erscheinungen über die begleitenden Akkommodationsänderungen ebenso wie über die Deutung der Erscheinungen noch mancherlei Unsicherheiten; ich gebe daher die obigen Vermutungen mit allem Vorbehalt.

hört, so daß das Doppelbild aus zwei monokularen Bildern besteht, die darum unter Umständen auch voneinander unabhängige Tiefenlokalisationen erfahren können.

Alle diese Tiefen- und die mit ihnen nahe zusammenhängenden Größenvorstellungen monokularen Ursprungs sind übrigens an eine länger dauernde Fixation oder auch, wie in vielen Fällen der Mikropsie und Makropsie, an dauerndere paretische oder spastische Akkommodationszustände gebunden. Dabei setzt zugleich, wie man besonders bei Doppelbildversuchen beobachten kann, die selbständige Lokalisation der Doppelbilder eine länger dauernde Richtung der Aufmerksamkeit auf sie voraus, wodurch sie erst zu selbständigen, dem Fixierpunkt unabhängig gegenüberstehenden Objekten der Beobachtung gemacht werden. Dauert dagegen die Beobachtung der Doppelbilder nur sehr kurze Zeit, so werden sie nur in ihrer unmittelbaren Relation zu dem Fixierpunkte aufgefaßt, und überdies haben dann die an den größeren Dislokationserscheinungen beteiligten Akkommodationsstörungen keine Zeit sich zu entwickeln. So kommt es, daß die räumliche Zuordnung der Doppelbilder zum Blickpunkt bei momentaner Dauer derselben, wo sie wie ein mit dem Fixierpunkt zusammenhängendes Gesamtbild erscheinen, ein verhältnismäßig richtiges Bild ihrer wirklichen Lage gibt, das erst bei längerer Dauer infolge ihrer Verselbständigung allen jenen in Inversionen und Größentäuschungen sich kundgebenden Unsicherheiten der monokularen Tiefenvorstellung Platz macht. Diese relativ große Sicherheit in der Tiefenlokalisation kurz dauernder Doppelbilder bekundet sich in mannigfachen Beobachtungen. Wenn man im dunkeln Raum einen kleinen Lichtpunkt als Fixationszeichen anbringt, und bald vor bald hinter ihn ein Objekt, das durch einen momentanen elektrischen Funken erleuchtet wird, so erscheint während der Beleuchtung dies Objekt in Doppelbildern. Aber obgleich Blickbewegungen bei der kurzen Dauer der Beleuchtung ausgeschlossen sind, erkennen wir doch deutlich, ob sich das doppelt gesehene Objekt vor oder hinter dem Blickpunkte befindet[1]. Noch einfacher zeigt das nämliche der HERINGsche Fallversuch[2]. Man stelle, indem man mit beiden Augen durch eine Röhre sieht, welche die Wahrnehmung seitlich gelegener Objekte verhindert, auf einen bestimmten Fixationspunkt ein und lasse nun durch einen Gehilfen bald vor bald hinter diesem ein Kügelchen durch das Sehfeld fallen. Man erkennt dann deutlich, ob das Kügelchen vor oder hinter dem Fixationspunkt herabfällt und hat sogar eine annähernde Vorstellung von

[1] DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 17, 2, 1871, S. 17. VAN DER MEULEN, ebend. Bd. 19, 1, 1873, S. 105.

[2] HERING, REICHERTS und DU BOIS-REYMONDS Archiv, 1865, S. 153. VAN DER MEULEN, a. a. O.

der absoluten Entfernung desselben. Der Versuch bietet zugleich ein Mittel zur Erkennung von Schielstörungen. Denn bei diesen ist die Tiefenunterscheidung in der Regel beeinträchtigt, woran sich schon leichtere Grade der Insuffizienz der Augenmuskeln erkennen lassen. Bei einer solchen Lokalisation momentaner Eindrücke im seitlichen Sehfeld werden aber diese zusammen mit dem Fixierpunkt als Teile eines einzigen Gesamtbildes aufgefaßt, und die indirekt gesehenen Objekte verhalten sich daher in diesem Fall nicht wesentlich anders als wie die seitlich vom Fixierpunkt gelegenen Teile eines und desselben Objektes, deren Tiefenverhältnis zu jenem wir nicht minder bei unbewegtem Auge und selbst bei momentaner Beleuchtung annähernd richtig erkennen. Wir besitzen demnach hier, ebenso wie überhaupt unter den normalen Bedingungen des Sehens, von der Anordnung der Objekte im Sehfeld eine annähernd richtige Vorstellung, auch wenn der Blick nicht wirklich zwischen ihnen hin- und herwandert; sondern es ist nur erforderlich, daß der Konvergenzmechanismus die zur normalen Ausführung dieser Bewegungen erforderliche Beschaffenheit besitze. Unter dieser Voraussetzung sind dann aber die Beobachtungen über die Lokalisation momentaner Eindrücke nur Variationen der Tatsache, daß, wenn Objekte im Sehbereich auftauchen, wir in jedem Moment genau wissen, in welcher Richtung wir unsere Augen bewegen müssen, um sie fixierend auf dieselben einzustellen, eine Kenntnis, die nur aus der Beziehung der Lichteindrücke zu der reflektorischen Innervation der Bewegungen des Auges abgeleitet werden kann. Der wesentliche Unterschied der Doppelbilder bei dauernder starrer Fixation von denen momentaner Eindrücke in der Umgebung des Fixierpunktes besteht demnach darin, daß die ersteren rein monokulare Erscheinungen sind, auf deren Tiefenlokalisation in erster Linie die Akkommodation neben hinzutretenden Assoziationen einwirkt, während für die letzteren die binokulare Synergie mit der sie beherrschenden Konvergenzinnervation bestimmend ist.

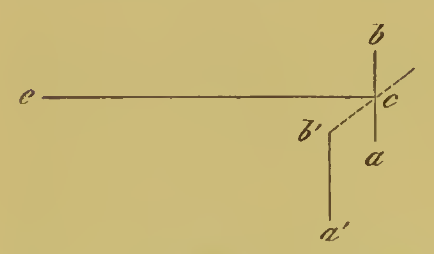


Fig. 304. Wirkung der Fixationslinien.

Wenn in den zuletzt beschriebenen Versuchen die indirekt gesehenen Objekte in annähernd richtiger Tiefenentfernung und dabei doch in der Regel als Doppelbilder gesehen werden, so führen nun aber diese Erscheinungen zugleich unmittelbar zu den Bedingungen hinüber, unter denen jene annähernd richtige Tiefenlokalisation der Doppelbilder zu einer vollständigen wird, wobei dann die Doppelbilder zu einer einzigen binokularen Tiefenvorstellung verschmelzen. Über diese Bedingungen

geben die folgenden Beobachtungen Auskunft. Man stelle (Fig. 304) beide Augen auf ein vertikal gehaltenes Fixationsobjekt *a b* (z. B. eine Stricknadel) ein, so daß *e c* die Richtung der Visierebene ist. Dann bringe man nahe vor *a b* ein zweites ähnliches Fixationsobjekt *a' b'*. Man sieht jetzt *a b* einfach, *a' b'* aber in Doppelbildern. Hierauf entferne man *a' b'* und gebe *a b* eine geneigte Lage, so daß *a* an die Stelle von *b'* kommt. Es müßte nun, wenn fortan der Punkt *c* fixiert wird, *a* ebenso wie vorhin *b'* doppelt gesehen werden. Man bemerkt aber, falls man nur die Tiefendistanz *c b'* nicht zu groß nimmt, daß es in diesem Fall ausnehmend schwer wird, den Punkt *a* wirklich doppelt zu sehen. Dies gelingt nur bei längere Zeit festgehaltener starrer Fixation auf Augenblicke. Sonst erscheint das Objekt ebensowohl bei wanderndem Blick als bei momentaner Betrachtung

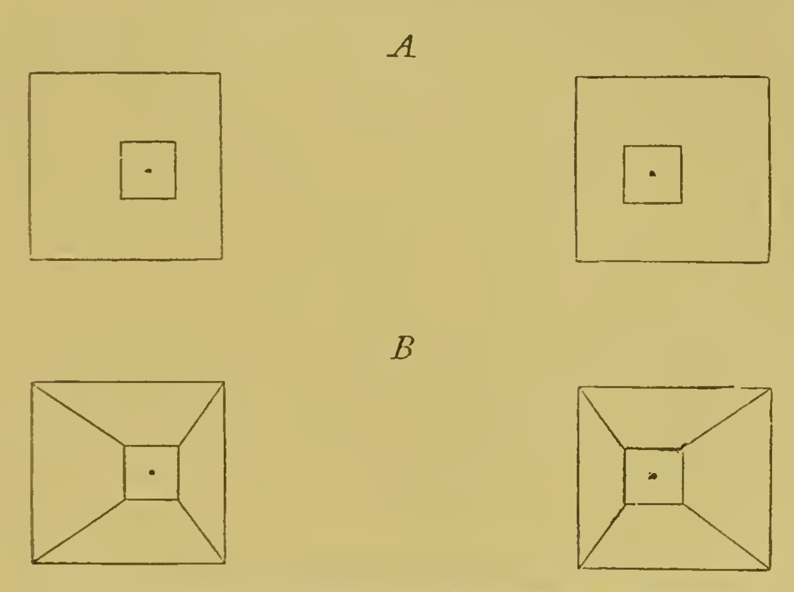


Fig. 305. Binokulare Bilder mit und ohne Fixationslinien.

einfach; zugleich faßt man aber deutlich seine geneigte Lage auf. Man zeichne ferner vier Quadrate wie in Fig. 305 *A*, und stelle beide Augen auf die zwei Mittelpunkte der kleinen Quadrate ein, so daß dieselben dauernd einfach gesehen werden. Es verschmelzen dann die mittleren Quadrate vollständig zu einer Vorstellung; der Effekt ist hier derselbe, als wenn man binokular ein einziges Quadrat fixierte, das im Konvergenzpunkt der beiden Blicklinien liegt. Die größeren Quadrate sieht man aber nicht einfach, sondern doppelt. Jetzt verbinde man, wie es in Fig. 305 *B* geschehen ist, die Eckpunkte eines jeden der kleinen Quadrate mit den ähnlich liegenden des größeren und fixiere wiederum die Mittelpunkte. Nun erscheint plötzlich die ganze Figur einfach: sie gibt das körperliche Bild einer abgestumpften Pyramide; die kleinen Quadrate ge-

hören der dem Beschauer zugekehrten abgestumpften Spitze, die großen der von ihm abgekehrten Grundfläche an. Zuweilen kommt es allerdings auch in diesem Falle vor, daß die größeren Quadrate samt den sie mit den kleineren verbindenden Linien bei starrer Fixation doppelt gesehen werden; dann verschwindet jedoch immer zugleich der vorige Eindruck der körperlichen Ausdehnung der Figur. Fixiert man in umgekehrter Weise, indem man den imaginären Blickpunkt vor die Ebene der Zeichnung verlegt und das rechte Auge auf den links, das linke auf den rechts gelegenen Punkt einstellt, so scheint in Fig. 305 *A* das einfach gesehene kleine Quadrat etwas über der Ebene der Zeichnung zu schweben, entsprechend der nahen Konvergenzstellung, während die großen Quadrate in Doppelbildern erscheinen; in Fig. 305 *B* aber entsteht ein einfaches Gesamtbild, in dem jedoch das große Quadrat dem Auge näher zu liegen scheint, als das kleine: dieses Bild entspricht daher einer Hohlpyramide, deren Grundfläche dem Beschauer zugekehrt ist. Wer in der willkürlichen Fixation getrennter Punkte mit beiden Augen nicht geübt ist, wird leicht durch Einlegen der Zeichnung in ein gewöhnliches Prismenstereoskop die erste Form der körperlichen Wahrnehmung erzeugen; die zweite läßt sich herstellen, wenn man die Zeichnung auseinander schneidet und dann die beiden Hälften derselben im Stereoskop vertauscht.

Diese Beobachtungen zeigen, daß bei der Gestaltung des Sehfeldes den Fixationslinien eine wesentliche Bedeutung zukommt. Nicht als ob sich auf ihnen die Blicklinie wirklich bewegen müßte; vielmehr üben sie diese Wirkung unmittelbar als die ihr gewissermaßen für ihre möglichen Bewegungen vorgezeichneten Wege aus. Sobald sich daher in dem objektiven Sehfeld voneinander getrennte Punkte befinden, orientieren wir uns über das gegenseitige Lageverhältnis derselben vorzugsweise mittels der Konturen, durch die sie verbunden sind. Wenn solche fehlen, haben wir zwar eine gewisse unbestimmte Vorstellung ihrer größeren oder geringeren Entfernung, aber bestimmter wird diese Vorstellung erst durch die Fixationslinien, auf denen sich der Blickpunkt hin- und herbewegen kann. Dabei fällt das subjektive mit dem objektiven Sehfeld allerdings dann am vollständigsten zusammen, wenn solche Bewegungen aktuell vollzogen werden. Doch wirkt schon das bloße Vorhandensein der Linien, also die virtuelle Bewegung in demselben Sinne. Umgekehrt kann man sich bei denselben Beobachtungen von der Tatsache, daß unsere Vorstellung über die Entfernung von Objekten, die voneinander getrennt im Sehfelde verteilt sind, nur eine sehr mangelhafte ist, leicht überzeugen. In dem Versuch der Fig. 304 hat man zwar in der Regel die Vorstellung, daß der Stab $a' b'$ näher als $a b$ sich befinde, aber unter den gewöhnlichen Bedingungen des Sehens unterschätzt man stets die

Distanz beider, wie man alsbald sieht, wenn *a b* in die durch die punktierte Linie angedeutete geneigte Lage gebracht wird, wo nun plötzlich diese Distanz merklich vergrößert erscheint. Bei den Doppelbildversuchen in Fig. 303 (S. 644) bemerkt man die nämliche Erscheinung, wenn man abwechselnd auf den näheren und auf den ferneren Punkt einstellt. Dabei scheinen sich die Doppelbilder, während sie bei der Änderung der Konvergenz einander näher treten, gleichzeitig von dem vorher festgehaltenen Fixationspunkte zu entfernen. Doch spielt in allen diesen Fällen außerdem noch der Umstand, ob die Netzhautbilder geläufigen Vorstellungen entsprechen, eine wichtige Rolle. So wird es nicht schwer, die Fig. 306 bei der Fixation der kleineren Kreise zur Vorstellung eines abgestumpften Kegels zu kombinieren, obgleich keine Fixationslinien zwischen den kleineren und größeren Kreisen vorhanden sind. Dabei kommt uns zustatten, daß eine wirkliche Form dieser Art in der Tat keine fest bestimmten Fixationslinien besitzt, während an einer ab-

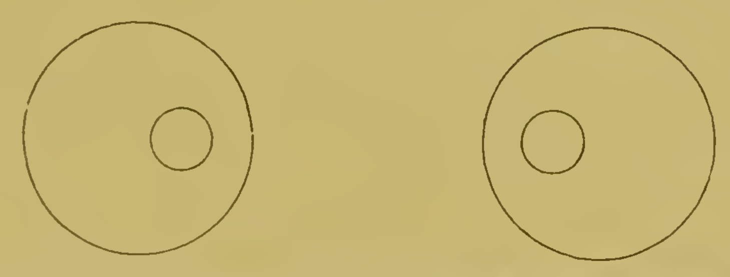


Fig. 306. **Körperlich erscheinende binokulare Bilder ohne Fixationslinien.**

gestumpften Pyramide, wie sie der Fig. 305 entspricht, solche zwischen den Ecken der Basis und der Spitze existieren müssen. Hierin verrät sich deutlich wiederum die Mitwirkung assoziativer Einflüsse, ähnlich denen, die wir bei den geometrisch-optischen Täuschungen kennen lernten (S. 579, 589). Infolge aller dieser Bedingungen ist aber die Vorstellung, die wir bei der Fixation irgendeines Punktes von dem Lageverhältnis anderer Punkte im Sehfelde gewinnen, in der Regel überhaupt nur insoweit bestimmt, als sie durch die Richtung, in welcher der Blickpunkt bewegt werden muß, um sich auf sie einzustellen, gegeben ist, während der Umfang der Blickbewegung relativ unsicher bleibt. Dies wird begreiflich, wenn man erwägt, daß die Lagebestimmung des Augapfels offenbar auf dieselbe Weise zustande kommt, wie die unserer tastenden Glieder, nämlich unter Mithilfe der Empfindungen, die bei der wirklichen Bewegung durch die Pressungen der Teile und andere periphere Sinnesempfindungen entstehen. Die von Lichteindrücken im Sehfeld ausgehenden Antriebe zur Bewegung beim ruhenden Blick sind nun zwar,

je nach der Richtung, in der der Antrieb wirkt, mit den von früheren Bewegungen zurückgebliebenen Residuen jener Empfindungen assoziiert (vgl. S. 590). Aber hierdurch wird doch zunächst hauptsächlich die Richtung der Bewegung, der Umfang derselben aber erst dann genauer determiniert, wenn die in verschiedenen Entfernungen liegenden Punkte durch Fixationslinien verbunden sind, wo nun jeder Punkt einer solchen Linie einen selbständigen Antrieb zur Bewegung mit sich führt.

Auch die Verbindung der gesehenen Objekte durch Fixationslinien gibt jedoch nur unter bestimmten Bedingungen eine Gewähr dafür, daß das subjektive mit dem objektiven Sehfeld übereinstimmt. Als erste Bedingung ergibt sich hier die, daß die Entfernungsunterschiede der gesehenen Punkte nicht allzu groß seien. Wenn man in dem Versuch der Fig. 304 den Stab *a b* und die Distanz der Punkte *c* und *b'* sehr groß wählt, so wird der Stab in der geneigten Lage nicht mehr vollständig einfach gesehen, sondern sein vorderes Ende weicht in Doppelbildern auseinander. Auch wenn die Fixationslinien von geringer Ausdehnung sind, kann aber Doppelsehen eintreten, sobald man einen Punkt des Objektes starr fixiert. Auf diese Weise können selbst einzelne Teile wirklicher körperlicher Objekte, namentlich wenn ihre Tiefenentfernung in bezug auf den fixierten Punkt erheblich ist, doppelt erscheinen. Sobald aber die nicht fixierten Teile des körperlichen Gegenstandes doppelt gesehen werden, wird regelmäßig auch die körperliche Vorstellung zerstört. Das ähnliche bemerkt man, wenn ein geneigt gehaltener Stab von dem fixierten Punkte an in Doppelbildern divergiert. Man sieht dann zwar in der Regel noch, welche Teile des Doppelbildes näher, und welche entfernter liegen als der Fixationspunkt, doch fehlt eine bestimmte Vorstellung über die Tiefenausdehnung des Stabes. Man überzeugt sich hiervon am besten, wenn man den Stab eben noch kurz genug nimmt, damit eine Vereinigung möglich ist, und dann abwechselnd durch starre Fixation Doppelbilder hervorbringt und durch rasche Blickbewegungen wieder vereinigt. Somit widerstreiten diese Versuche durchaus nicht der Allgemeingültigkeit des Satzes, daß die Objekte immer dann einfach gesehen werden, wenn das subjektive mit dem objektiven Sehfeld übereinstimmt. Denn das Doppelsehen erfolgt eben immer erst in dem Moment, wo beide nicht mehr zusammenfallen.

d. Das stereoskopische Sehen und die Schärfe der binokularen Tiefenwahrnehmung.

Mit dem Namen des stereoskopischen Sehens bezeichnen wir alle Gesichtswahrnehmungen, bei denen infolge der oben erörterten Bedingungen bei der Wahrnehmung naher Objekte diese binokular

in eine einheitliche körperliche Vorstellung vereinigt werden. Der Name ist ursprünglich von den für die willkürliche Zusammensetzung dieser Körpervorstellungen aus monokularen Bildern konstruierten Instrumenten, den unten zu erörternden »Stereoskopen«, hergenommen worden. Wir dehnen ihn aber jetzt auf alle Erscheinungen des binokularen körperlichen Sehens aus, bei denen die ähnlichen Bedingungen wirksam sind, vor allem also auch auf die natürliche binokulare Körperwahrnehmung, sowie nicht minder auf die Beobachtungen, die oben über die Überführung von Doppelbildern zweiseitig monokularen Ursprungs in binokulare Einheitsbilder angeführt worden sind. Auch sind Versuche der letzteren Art über stereoskopisches Sehen ohne Stereoskop im allgemeinen für die Untersuchung der binokularen Tiefenvorstellung vorteilhafter als die Beobachtungen mit dem Stereoskop, weil sie eine freiere Variation der Bedingungen gestatten, dabei aber freilich auch eine sicherere Beherrschung der Augenbewegungen voraussetzen.

Das Nächste, was nun dem Beobachter bei der Entstehung einer stereoskopischen Vorstellung entgegentritt, ist die spezifische Form, die diese Vorstellung als etwas durchaus Eigenartiges, gegenüber der Flächenvorstellung qualitativ Verschiedenes erscheinen läßt, das zwar an den allgemeinen Eigenschaften des Raumes teilnimmt und deshalb auf die gleichen Maßprinzipien zurückgeführt werden kann, dabei aber doch eine neue, spezifische Art von Erlebnissen darstellt. Die Tiefenvorstellungen, die wir uns vermöge der in einer Zeichnung wiederzugebenden sekundären Merkmale, wie Perspektive, Schattierung, auch im monokularen Sehen bilden können, besitzen diesen Charakter in wesentlich geringerem Maße, so daß er hier zu größerer Lebendigkeit wahrscheinlich erst durch die reproduktiven Assimilationen wirklicher stereoskopischer Objekte zustande kommt. Dafür spricht namentlich auch, daß eine solche stärkere Wirkung in diesem Fall durch Bedingungen erzeugt wird, die den für das eigentliche stereoskopische Sehen geltenden genau entgegengesetzt, dabei aber dem Überwiegen der Assimilationen über die Wahrnehmungsmotive besonders günstig sind. Während nämlich der binokulare stereoskopische Effekt durch Wanderungen des Blicks längs der Fixationslinien bedeutend erhöht wird, steigert sich umgekehrt der Tiefeneffekt perspektivischer und schattierter Zeichnungen durch starre monokulare Fixation. Und wie überhaupt die Blickbewegung nach leicht zu bestätigenden Beobachtungen die direkten stereoskopischen Effekte des Binokularsehens steigert, so begünstigt überall die starre Fixation die vorzugsweise an das monokulare Sehen gebundenen assimilativen Effekte. Darum kann durch diese, besonders wenn der entgegenwirkende Einfluß des andern Auges ausgeschaltet wird, dieser rein assimilative Tiefeneffekt den des

wirklichen stereoskopischen Sehens erreichen. Doch müssen dazu immer noch, wie uns das Studium der geometrisch-optischen Täuschungen gelehrt hat, entweder die geeigneten Bedingungen der Fixation (bei den umkehrbaren Täuschungen) oder aber die assimilativen Wechselwirkungen zwischen Netzhautbild und Bewegungsintention hinzukommen (bei den variabeln Täuschungen).

Von diesen meist vielfach ineinandergreifenden Bedingungen des monokularen und binokularen Sehens zeigen sich nun auch überall die Erscheinungen beherrscht, die sich uns bei den freien, ohne Stereoskop ausgeführten Versuchen über das Entstehen und Verschwinden stereoskopischer Effekte darbieten, daher solche für das Studium der Entstehung und des Verschwindens der binokularen Synergie besonders belehrend sind. Als leitendes Prinzip aller so auszuführenden Variationen der Beobachtung bestätigt sich aber stets wieder der Satz, daß die Art, wie unter

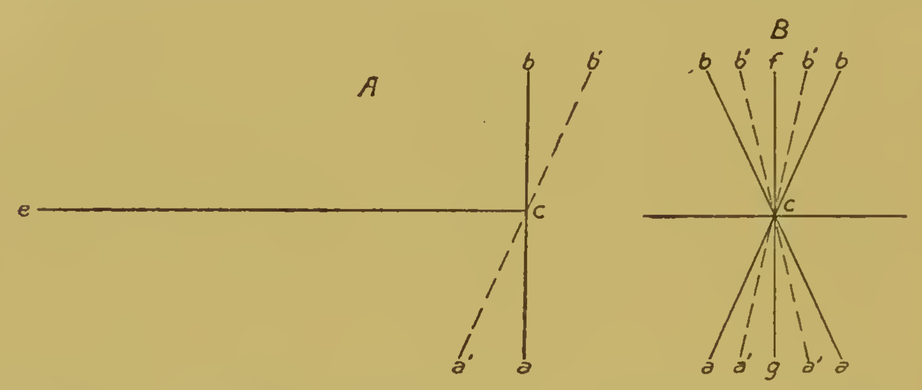


Fig. 307. Verhältnis der Tiefenprojektion zur Disparation der Doppelbilder.

dem Zusammenwirken der momentan gegebenen psychophysischen Bedingungen in der Vorstellung die Projektion des Bildes in den Sehraum zustande kommt, auch für die Lageverhältnisse aller einzelnen Bildbestandteile sowie für die relative Beteiligung des monokularen und des binokularen Effektes bestimmend ist. Wo monokulare Doppelbilder zu einem einheitlichen binokularen Bilde zusammentreten, da verändern sich daher die ersteren stets genau in dem Maße und in dem Sinne, in welchem dies durch die hierdurch eintretende veränderte Raumbeziehung gefordert ist. Belehrend ist in dieser Beziehung der in Fig. 307 schematisierte Versuch, der sich eng an den oben durch Fig. 304 dargestellten anschließt. *A* veranschaulicht ihn in einem durch die Medianebene gelegten, den binokularen Augenpunkt *e* und den Fixierpunkt *c* enthaltenden senkrechten, *B* in einem rechtwinkelig zu dem vorigen durch *c* gelegten Durchschnitt. Man biete zunächst den beiden Augen bei symmetrischer Konvergenz ein senkrecht zur Visierebene stehendes lineares Objekt,

z. B. eine dünne Stricknadel *a b*, und fixiere einen mittleren Punkt *c* derselben. Dabei geht bei starrer Fixation das Objekt *a b* in zwei Doppelbilder auseinander, die sich in dem einfach erscheinenden Fixierpunkt *c* kreuzen. Nun drehe man das Objekt mit seinem oberen Ende vom Beobachter weg in die Lage *a' b'*. Es pflegt dann, falls man nur die Fixierstellung unverrückt festhält, das Doppelbild nicht zu verschwinden, obgleich man die Drehung wahrnimmt und daher *a' b'* in einer allerdings etwas unbestimmten, aber doch in ihrer Richtung der wirklichen Lage entsprechenden Stellung wahrnimmt. Dabei haben sich dann aber regelmäßig auch die Winkel, welche die Doppelbilder des Objektes *a b* mit dessen wirklicher Lage bilden, vermindert: sie erscheinen etwa in die Lagen *a' b'* gerückt (*B*). Gibt man nun aber nur für einen Moment absichtlich oder unabsichtlich die starre Fixierstellung auf, so verschwinden die Doppelbilder, und das Objekt erscheint jetzt deutlich stereoskopisch in seiner nach der Tiefe geneigten Lage. Damit sind dann selbstverständlich auch die Winkel, die die monokularen Halbbilder mit dem Meridian bilden, verschwunden. Ein von TSCHERMAK und HOEFER beschriebener Versuch ist eine Übertragung dieser Winkeldisparation der Doppelbilder und ihres Verschwindens auf deren Querdisparation[1]. Man bringe in bequemer Sehnähe in der Medianebene ein Lot an, auf das die beiden Blicklinien in symmetrischer Konvergenz eingestellt werden, und in größerer Ferne ein zweites Lot. Betrachtet man nun die beiden Lote zuerst abwechselnd mit dem rechten und mit dem linken Auge, und dann das gleiche Bild binokular, so erscheinen die Querdistanzen im monokularen Bilde beträchtlich größer als im binokularen stereoskopischen. Auch hier verschwindet eben in diesem der der Tiefenprojektion entsprechende Anteil. Zugleich erinnert aber dies Verschwinden wieder an die ähnlichen Erscheinungen bei den geometrisch-optischen Täuschungen, z. B. an die Aufhebung der scheinbaren abwechselnden Divergenzen und Konvergenzen der parallelen Geraden in der ZOELLNERschen Figur, wenn diese in eine perspektivische Vorstellung übergeht (Fig. 277, S. 587), nur daß jetzt durch eine direkte stereoskopische Wirkung eintritt, was dort ein assimilativer Effekt war. Dabei bleibt jedoch dem stereoskopischen Sehen immer der Vorzug, daß es den natürlichen Bedingungen des Sehens entspricht, wie sie sich bei den gewöhnlichen, die Bewegung des Auges mit dem Wechsel der Eindrücke verbindenden Funktionen einstellen, wogegen die vorzugsweise assimilativ eintretenden Tiefenwirkungen monokularer Bilder gerade umgekehrt eine Isolierung der Funktionen des Einzelauges von den Bedingungen des gemeinsamen Sehens fordern.

[1] HOEFER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 115, 1906, S. 483.

Mit der in diesen Tatsachen zutage tretenden Überlegenheit der stereoskopischen über die monokulare Wahrnehmung steht nun auch, wie man schließen darf, die die monokulare Sehschärfe weit übertreffende Schärfe der binokularen Tiefenwahrnehmung in enger Beziehung. Während nämlich der normale monokulare Sehwinkel kleinster erkennbarer Distanzen 60—90″ beträgt und nur bei der Erkennung von Richtungsunterschieden, wo sich möglicherweise bereits assimilative Rückwirkungen des stereoskopischen Sehens auf das einzelne Auge geltend machen, bis auf 10—12″ herabsinkt (S. 533), beträgt nach den übereinstimmenden Beobachtungen von BOURDON, PULFRICH und HEINE die stereoskopische Sehschärfe, d. h. die kleinste Unterscheidung von Tiefenunterschieden im binokularen Sehen nicht mehr als 5—6″, also etwa die Hälfte jenes kleinsten Gesichtswinkels monokularer Richtungsunterschiede und nicht mehr als $^1/_{10}$ des Gesichtswinkels kleinster noch eben monokular erkennbarer Distanzen[1]. Dieser auffallende Unterschied entspricht ganz dem eigenartigen und besonders beim Übergang der monokularen Doppelbilder in ein einfaches stereoskopisches Bild ebenfalls höchst überraschenden Eindruck der Tiefenvorstellung. Die Tatsache beweist aber zugleich, daß es unstatthaft ist, das stereoskopische Bild als eine einfache Summationswirkung der beiden monokularen Bilder anzusehen. Das ist auch dann nicht möglich, wenn man etwa die Konvergenzbewegungen oder, da solche im einzelnen Fall gar nicht stattzufinden brauchen, die Bewegungsintentionen zur Ergänzung herbeizieht. Denn auch diese kommen im günstigsten Fall der monokularen Sehschärfe gleich (S. 532). Jener den Betrag seiner Komponenten weit übertreffende Wert der stereoskopischen Sehschärfe kann daher nur als eine Resultante dieser Komponenten angesehen werden, die, wie der stereoskopische Gesamteffekt den des Flächenbildes gleichzeitig in sich aufnimmt und steigert, so auch die Einzelkomponenten der Sehschärfe an Feinheit weit übertrifft. Im Zusammenhange damit steht die Beobachtung, daß innerhalb der Grenzen der stereoskopischen Wahrnehmung der Gesichtswinkel in seinem Einfluß auf die Entfernungsschätzung ganz zurücktritt, und daß statt seiner vielmehr die für den stereoskopischen Effekt maßgebenden Unterschiede der Netzhautbilder, insbesondere deren Querdisparationen, den entscheidenden Einfluß ausüben. Indem nun aber der Übergang zwischen der stereoskopischen Sehregion und dem jenseits derselben gelegenen Raumgebiet, in welchem

---

[1] BOURDON, La perception visuelle de l'espace, p. 246 ff. PULFRICH, Zeitschr. für Instrumentenkunde, 1901, S. 258. HEINE, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 51, 1900, S. 146. Noch HELMHOLTZ hatte eine genaue Übereinstimmung der stereoskopischen mit der gewöhnlichen monokularen Sehschärfe angenommen (Physiol. Optik², S. 801 f.). Dabei waren freilich seine Bestimmungen, ebenso wie die anderer Forscher, etwas durch die Bedeutung beeinflußt, die sie dem sogenannten »Horopter« beimaßen (s. unten e.).

binokulare und monokulare Vorstellung identisch werden, ein allmählicher ist, vollzieht sich auch ein entsprechend allmähliches Schwinden der Tiefeneffekte. In einer für die binokulare Disparation günstigsten Nähe erscheinen daher die körperlichen Gegenstände oder ihnen entsprechende Bilder hyperstereoskopisch im Verhältnis zu etwas entfernteren[1].

e. Prinzip der häufigsten Verbindung: allgemeine Form des Sehfeldes.

Die Umstände, die das Verhältnis des subjektiven Sehfeldes in dem oben (S. 643) definierten Sinne zu dem objektiven Sehfeld oder zu der wirklichen Anordnung der Objekte im Sehraum beeinflussen, lassen sich in den folgenden Satz zusammenfassen, den wir als das Prinzip der häufigsten Verbindung bezeichnen können: Die Erregung solcher Netzhautpunkte, die in der großen Mehrzahl der Fälle übereinstimmenden Objektpunkten entsprechen, erzeugt leichter eine einfache Vorstellung als die Erregung solcher, bei denen eine Beziehung dieser Art seltener eintritt. Wo bestimmte Motive zur Lokalisation der auf beiden Netzhäuten entworfenen Bilder fehlen, da lokalisieren wir dieselben durchweg nach diesem Prinzip. Die Existenz desselben ergibt sich schon aus der Tatsache, daß wir in diesem Fall dem Sehfelde überhaupt eine bestimmte, und zwar im allgemeinen eine übereinstimmende Form geben. Diese Form ist es eben, welche als die häufigste den wechselnderen Gestaltungen des subjektiven Sehfeldes gegenübertritt. Sie wird aber teils durch die eigenen Bewegungsgesetze des Auges, teils durch die gewöhnlichen Verhältnisse der äußeren Eindrücke bestimmt; erst in zweiter Linie werden dann die besondern Motive wirksam, die das Sehfeld anders gestalten. Aus den variabeln Beziehungen der einzelnen Netzhautstellen beider Augen zueinander müssen sich daher die konstanteren ausgesondert haben; und diese häufigste Verbindung der binokularen Netzhauteindrücke ist nur die innigste unter einer Reihe von Verbindungen, die verschiedene Grade der Stärke besitzen. Die Tatsache, daß eine solche konstantere Beziehung existiert, steht übrigens damit, daß im allgemeinen die Verbindung der doppeläugigen Eindrücke variabel ist, durchaus nicht im Widerspruch. Wohl aber können sich dadurch, daß die konstantere Verbindung vorübergehend in Konflikt gerät mit den Bedingungen der einzelnen Wahrnehmung, Widersprüche im Sehen selber entwickeln. Solche äußern sich dann in einem Kampf zwischen Doppel- und Einfachsehen, der überall zur

[1] Vgl. F. Hillebrand, Denkschr. der Wiener Akademie, math.-naturw. Kl. Bd. 72, 1902. Dazu J. von Kries, Zeitschr. für Psychol., Bd. 33, 1903, S. 366.

Erscheinung kommt, wo das objektive Sehfeld sehr ungewöhnliche Formen darbietet, oder wo durch starre Fixation die genauere Auffassung der Lageverhältnisse der Gegenstände beeinträchtigt wird.

Einen Beleg für die Entstehung neuer Zuordnungen aus einem solchen Kampf der Motive bieten die Anpassungsvorgänge, die zuweilen im Gefolge angeborener oder erworbener Abnormitäten in dem Mechanismus der binokularen Augenbewegungen beobachtet werden. Die eine Form dieser Erscheinungen, die des sogenannten paralytischen Schielens, die aus der vollständigen oder teilweisen Innervationslähmung eines oder mehrerer Augenmuskeln entspringt, ist mit Rücksicht auf ihre Bedeutung teils für die Bewegungsempfindungen überhaupt, teils speziell für die Gesichtswahrnehmungen schon an andern Stellen erörtert worden (S. 33, 609). Wesentlich abweichend verhält sich die zweite Form, die gerade in die Funktionen des Doppelauges nicht selten als störendes Moment eingreift: die des muskulären Schielens, das in der abnormen Verkürzung von Augenmuskeln bei übrigens normaler Innervation derselben begründet ist. Während bei dem paralytischen Schielen der Aberrationswinkel des schielenden Auges, d. h. derjenige Winkel, um welchen die Blicklinie des abnormen Auges von der richtigen Stellung abweicht, bei verschiedenen Augenstellungen wechselt und im allgemeinen mit wachsender Konvergenz zunimmt, ist dies anders beim muskulären Schielen. Hier behält, da die gemeinsame Innervation des Doppelauges nicht gestört ist, jener Winkel immer die nämliche Größe. Auch in diesen Fällen kommt es, ähnlich wie beim paralytischen Schielen, vor, daß das eine Halbbild allmählich infolge abnehmender Sehschärfe des betreffenden Auges vernachlässigt wird. Oft wird aber auch bald das eine bald das andere Auge zum Fixieren benützt; und dann werden die Objekte trotzdem in der Regel nicht doppelt, sondern einfach gesehen. Daß dies nicht von Vernachlässigung des einen Halbbildes herrührt, kann man durch ablenkende Prismen leicht nachweisen, die alsbald Doppelbilder hervortreten lassen. Es muß also hier das Netzhautzentrum des einen Auges demjenigen Punkt der Netzhaut des andern, auf dem sich der nämliche Objektpunkt abbildet, in konstanterer Weise zugeordnet sein, und entsprechend müssen sich dann die übrigen einander zugeordneten Netzhautpunkte verschieben. In der Tat treten, wenn durch eine Operation die normale Stellung der Augen wiederhergestellt wird, eine Zeitlang außerordentlich störende Doppelbilder auf, die nur allmählich verschwinden, sei es weil das eine Halbbild vernachlässigt wird, sei es weil sich abermals eine neue Zuordnung der binokularen Netzhautstellen herstellt[1].

[1] NAGEL, Das Sehen mit zwei Augen, S. 130. ALFR. GRAEFE, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 11, 2, 1865, S. 17, und Handbuch der ges. Augenheilkunde [2], Bd. 8, 2, S. 94 ff.

Vor allem spricht nun die Lage der konstanter zugeordneten Stellen im normalen Auge für eine Entwickelung dieser Zuordnungen aus variableren Verbindungsverhältnissen. Es liegen nämlich jene Stellen in den meisten Augen nicht, wie man lange Zeit annahm, vollkommen symmetrisch zur Medianebene des Körpers, sondern sie zeigen Abweichungen, die darauf hindeuten, daß jene Form des subjektiven Sehfeldes, die vermöge der objektiven Bedingungen des Sehens die häufigste ist, die Lagerung der korrespondierenden Stellen bestimmt hat. Dasjenige Sehfeld, das beim Mangel aller äußeren Bestimmungsmomente hervortritt, ist nämlich, wie wir früher (S. 568) sahen, eine Kugelfläche, die um den Drehpunkt des Auges oder, bei binokularem Sehen, um den Mittelpunkt der Verbindungslinie beider Drehpunkte gelegt ist (S. 641). Dieser Kugelfläche entspricht jedoch das gewöhnliche Sehfeld, wie wir jene häufigste Form nennen wollen, bloß in seiner oberen Hälfte; in seiner unteren wird es durch die Bodenfläche bestimmt, als deren normale Form wir eine horizontale Ebene betrachten können. Wenigstens für unsere nächste Umgebung trifft letzteres ja in der Mehrzahl der Fälle zu. Am Horizont erscheint uns das Himmelsgewölbe, das wir als Hohlkugelform sehen, plötzlich ein Ende zu haben und in die ebene Bodenfläche überzugehen. Da wir nun den Blick um so mehr heben müssen, je fernere Punkte der letzteren wir fixieren, so erscheint uns diese Ebene nicht horizontal oder etwa gar im Sinne der Erdkrümmung gewölbt, sondern als eine von unsern Füßen bis zum Horizont stetig ansteigende Ebene, wie es die Fig. 308 übertrieben darstellt, wo *o c* die Richtung der horizontalen Visierebene, *a b* die wirkliche horizontale Bodenebene und *a c* die scheinbare Neigung der letzteren bedeuten. Zugleich sehen wir das Himmelsgewölbe selbst nicht vollkommen kugelförmig gewölbt, sondern flacher, da uns infolge der scheinbaren Vergrößerung eingeteilter Linien (S. 582) schon wegen der vielen Fixationspunkte zwischen unserm Standpunkt und dem Horizont dieser ferner erscheint als der Zenith. Wenn wir also bei paralleler Augenstellung in unendliche Ferne sehen, so nähert sich nur der obere Teil unseres Sehfeldes einer mit sehr großem Radius beschriebenen Kugelfläche und kann demnach für die nächste Umgebung des Blickpunktes als eine Ebene angesehen werden, die auf der horizontalen Visierebene senkrecht steht. Der untere Teil dagegen ist eine geneigte Ebene, die

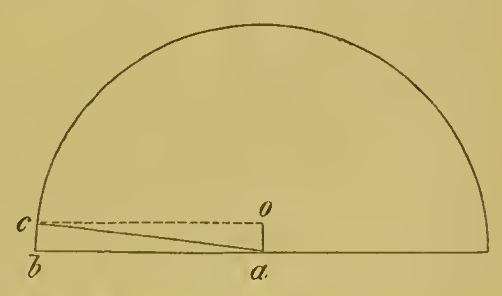


Fig. 308. Reguläre Form des Sehfeldes.

in der Nähe unseres Fußpunktes von der horizontalen Bodenebene nicht mehr merklich verschieden ist. Demnach bilden sich denn auch, wenn wir auf ebenem Boden stehend in unendliche Ferne blicken, nur die oberen Teile des Sehfeldes auf identischen Punkten beider Netzhäute ab. Denkt man sich dagegen auf dem Fußboden in der Medianebene des Körpers eine gerade Linie gezogen, so liegen die Bilder derselben nicht auf identischen Stellen, sie schneiden nicht einander parallel die Netzhautzentren, sondern sie konvergieren nach oben. Da wir nun trotzdem die Objekte zu unsern Füßen in der Regel einfach sehen, so vermutete HELMHOLTZ[1], die früher (S. 595) hervorgehobenen Täuschungen über die Richtung vertikaler Linien seien hier von Einfluß, weil die Neigung, die eine scheinbar vertikale Linie in ihrem Netzhautbilde hat, nicht nur dem Sinne, sondern häufig auch der Größe nach ungefähr dieselbe ist, wie sie dem Bild einer auf dem Fußboden gezogenen geraden Linie entspricht. Bei konvergenten und stark nach abwärts geneigten Blicklinien dagegen, bei denen Rollungen um die Blicklinie eintreten, die nicht mehr dem LISTINGschen Gesetze folgen (S. 565), entspricht, wie DONDERS ermittelte, die Fläche, für welche die Inkongruenz der Netzhäute verschwindet, in der Regel annähernd derjenigen Ebene, in der sich die Gegenstände unserer gewöhnlichen Beschäftigung beim Nahesehen befinden, in der man z. B. beim Lesen das Buch zu halten pflegt[2]. In dieser Ebene der aufgehobenen Inkongruenz werden Linien von jeder Richtung binokular einfach gesehen; sie ist, wahrscheinlich infolge wechselnder Gewohnheiten, individuell etwas veränderlich, bewahrt aber stets eine zur abwärts geneigten Blickebene nicht vollkommen senkrechte, sondern etwas nach unten abweichende Richtung. Die zugehörige Lage der Blickebene weicht übrigens bei den meisten Individuen erheblich ab von der vorzugsweise durch die Bewegungsgesetze bei parallelen Blicklinien ausgezeichneten Primärstellung (S. 554), da sie bedeutend tiefer als die letztere liegt. Wegen dieses Verhältnisses hat DONDERS jene von dieser als die Primärstellung für Konvergenz unterschieden. Wie nun je nach individueller Gewohnheit und Beschäftigung bald parallele bald konvergierende Blickbewegungen überwiegen, so ist es auch wahrscheinlich, daß bei gewissen Individuen das Sehen mit horizontaler, bei andern das Sehen mit geneigter Blickebene vorzugsweise die Lage der korrespondierenden Netzhautmeridiane bestimmt hat. Darum ist dem Umstande, daß man in vielen Fällen den Betrag der Netzhautinkongruenz der Voraussetzung, wonach sie durch die Bodenebene bestimmt wird, nicht ent-

---

[1] Physiologische Optik[1], S. 715, [2] S. 862.
[2] DONDERS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, 1876, S. 373.

sprechend fand, wohl kein entscheidender Wert beizulegen. Auch ist zu bemerken, daß alle diese Versuche, die Inkongruenz der beiden Netzhäute aus Verhältnissen der Gesichtswahrnehmung zu erklären, mit der oben (S. 549 ff.) gegebenen Ableitung aus der Verteilung der Muskelkräfte am Auge nicht im Widerspruch stehen, vielmehr zusammen mit dieser nur eine fernere Bestätigung des Satzes liefern, daß Innervation und Mechanik der Augenmuskeln den Bedürfnissen des Sehens angepaßt sind. Wenn wir freilich nach den Gründen für eine solche Anpassung suchen, so werden wir annehmen können, in der Entwickelung der Art seien die Bedürfnisse des Sehens, wie sie sich allmählich durch die Vereinigung der beiden Augen zum Doppelauge ausgebildet haben, ursprünglich bestimmend gewesen, wogegen bei der individuellen Entwickelung die Mechanik des Auges das frühere sei. Hiermit ist die Frage, wie sich aus den wechselnden Verbindungen verschiedener Deckpunkte die korrespondierenden Punkte als bevorzugte Verbindungen entwickelt haben, auch schon beantwortet. Wir sehen eine Gerade auf dem ebenen Fußboden nur deshalb vorzugsweise leicht einfach, weil beide Augen vermöge des bestimmenden Einflusses der Bewegung jener eine und dieselbe Richtung anweisen. Die hierbei wirksamen Gesetze der Augenbewegung werden sich dann aber allerdings schon in der generellen Entwickelung unter der Leitung der Gesichtseindrücke ausgebildet haben, wenn auch der individuellen Anpassung daneben eine gewisse Bedeutung zukommt, wie dies die oben besprochenen Erscheinungen beim muskulären Schielen andeuten. Doch gerade diese Erscheinungen zeigen auch, daß solche Anpassung Zeit braucht, während die große Geschwindigkeit, mit der sich bei Menschen und Tieren die Funktionen des Sehens ausbilden, nur aus ererbten Anlagen begreiflich ist.

Blicken die Augen nicht in unendliche Ferne, sondern auf irgendein näheres Objekt, so verlieren nun die korrespondierenden Punkte ihre unmittelbare Bedeutung für das Sehen. Nichtsdestoweniger ist es klar, daß ihnen auch hier noch vermöge ihrer häufigeren Verbindung ein gewisser Einfluß zukommen kann. In allen Fällen nämlich, wo bestimmte Deckpunkte des jeweiligen Sehfeldes zugleich korrespondierende Punkte sind, wird die einfache Auffassung derselben und demgemäß auch ihre Lagebestimmung erleichtert, nach dem allgemeinen Assoziationsprinzip, wonach sich psychische Elemente um so leichter von neuem verbinden, je öfter sie schon verbunden gewesen sind. (Vgl. Abschn. V.) Da die Macht dieses Einflusses, wie wir an den Doppelbilderscheinungen sahen, so stark ist, daß sie den im objektiven Sehfeld gegebenen Antrieben unter Umständen sogar zu widerstehen vermag, so wird die Verbindung

um so mehr erleichtert sein, wenn jene Antriebe in gleichem Sinne wirken. Nennt man den Inbegriff derjenigen Raumpunkte, deren Bild in beiden Augen auf korrespondierende Stellen fällt, den Horopter, so wird sich demnach die Bedeutung desselben für das Sehen nach dem obigen dahin feststellen lassen, daß alle Deckpunkte, die in den Horopter fallen, in bezug auf ihre Verschmelzung begünstigt sind. Hiermit ist schon ausgedrückt, daß der Horopter nicht, wie es häufig geschah, als der Inbegriff derjenigen Punkte aufgefaßt werden darf, die wirklich immer einfach gesehen werden. Zudem bedarf die obige Bestimmung noch einer weiteren Einschränkung. Eine reale Bedeutung für das Sehen besitzen nur diejenigen Teile des Horopters, die mit dem Fixationspunkt in unmittelbarem Zusammenhange stehen, demnach solchen Linien des Sehfeldes angehören, die den Blickpunkt schneiden, nicht aber Teile, die isoliert vom Blickpunkt in indirekt gesehenen Gebieten des Sehfeldes liegen. Indirekt gesehene Objekte werden nämlich an und für sich so ungenau wahrgenommen, daß selbst bedeutende Abweichungen der beiden Halbbilder nicht bemerkt werden, daher auch der Umstand, ob die Deckpunkte zugleich korrespondierende Punkte sind, für solche stark seitlich gelegenen Objekte nicht von Belang ist. Dies wird anders, wenn die indirekt gesehenen Punkte zusammen eine Linie bilden, die den Blickpunkt schneidet. In diesem Falle müssen sich, wenn sich der Blickpunkt entlang einer solchen Linie bewegt, die einzelnen Punkte derselben ineinander verschieben. Wenn der Blickpunkt von einem Punkt a auf einen Punkt b einer derartigen Horopterlinie übergegangen ist, so müssen nun a und alle zwischen a und b gelegenen Punkte wieder im Horopter liegen, d. h. auf korrespondierenden Stellen beider Netzhäute sich abbilden. Alle durch den Blickpunkt gezogenen Horopterlinien werden also in bezug auf die binokulare Auffassung ihrer Richtung begünstigt sein. Denn bei ihrer Verfolgung mit dem Blick tritt für die binokulare Auffassung das nämliche ein, was für die monokulare gemäß dem LISTINGschen Gesetze bei den Bewegungen von der Primärlage aus geschieht. Wie sich hier alle geraden Linien, die im ebenen Sehfeld vom Blickpunkt aus verfolgt werden können, bei der Bewegung dergestalt ineinander verschieben, daß sie sich fortwährend auf denselben Netzhautmeridianen abbilden (Fig. 264, S. 568), so wird dies für die Horopterlinien in bezug auf beide Netzhäute der Fall sein. Über die Richtung solcher Linien orientieren wir uns daher beim binokularen Sehen am leichtesten und genauesten.

Es gibt dreierlei Stellungen des Auges, in denen der Horopter eine Bedeutung für das Sehen im angegebenen Sinne beanspruchen kann. Diese sind: 1) die Fernstellung mit parallelen, gerade nach vorn gerichteten Blicklinien,

2) die Konvergenzstellungen in der Primärlage, und 3) die symmetrischen Konvergenzstellungen in andern Lagen der Visierebene. Bei der Fernstellung des Auges, welche die Ausbildung der korrespondierenden Punkte und damit den Horopter überhaupt bestimmt, ist dieser eine Fläche, die, wie wir oben sahen, in der Regel der unteren, zuweilen dagegen der oberen Hälfte des gewöhnlichen Sehfeldes entspricht, also eine Ebene, die entweder mit der Fußbodenebene zusammenfällt oder auf derselben senkrecht ist; in seltenen Fällen scheint sie sich ganz nach dem gewöhnlichen Sehfeld zu richten, also aus jenen beiden Ebenen zu bestehen. In allen andern Augenstellungen ist der Horopter die Schnittlinie zweier Flächen, von denen man die eine den Vertikalhoropter, die andere den Horizontalhoropter nennt. Um jede dieser Flächen zu finden, denke man sich auf der Netzhaut zwei Reihen von Linien gelegt, die einen parallel dem scheinbar vertikalen Netzhautmeridian, die andern parallel dem Netzhauthorizont: die ersteren werden die vertikalen, die zweiten die horizontalen Trennungslinien genannt. Den Vertikalhoropter erhält man nun, wenn man durch die vertikalen Trennungslinien beider Netzhäute und durch die Kreuzungspunkte der Visierlinien Ebenen legt: die Linie, in der sich diejenigen Ebenen schneiden, die je zwei korrespondierenden Trennungslinien entsprechen, gehört der Vertikalhoropterfläche an. Der Horizontalhoropter wird erhalten, wenn man durch die horizontalen Trennungslinien und die Kreuzungspunkte der Visierlinien Ebenen legt: die Linie, in der sich jetzt die Ebenen zweier korrespondierender Trennungslinien schneiden, gehört zum Horizontalhoropter. Befinden sich beide Augen in symmetrischer Konvergenz von der Primärlage aus, so ist der Vertikalhoropter eine Kegelfläche, die durch die Kreuzungspunkte der Visierlinien geht. Wird die Abweichung der scheinbar vertikalen Meridiane null, so wandelt sich dieser Kegel in einen auf der Visierebene senkrechten Zylinder um. Der Horizontalhoropter besteht aus zwei Ebenen, von denen die eine, die Schnittebene der beiden Netzhauthorizonte, mit der Visierebene zusammenfällt, die andere, die alle Schnittlinien der übrigen horizontalen Trennungslinien enthält, die zur Visierebene senkrechte Medianebene ist. Totalhoropter ist daher in diesem Fall ein durch die beiden Kreuzungspunkte der Visierlinien in der Ebene der letzteren gelegter Kreis und eine in der Medianebene liegende Gerade, die den Fixationspunkt schneidet. Diese Gerade steht senkrecht zur Visierebene, wenn die korrespondierenden mit den identischen Stellen zusammenfallen, d. h. wenn die Abweichung der scheinbar vertikalen Trennungslinien null ist; sie ist zur Visierebene geneigt, wenn sich die Ausbildung der korrespondierenden Punkte nach der Bodenebene gerichtet hat. In diesen Augenstellungen ist somit die binokulare Ausmessung horizontaler Linien sowie einer Medianlinie, die unter einem bestimmten, je nach der Lage der scheinbar vertikalen Meridiane etwas wechselnden Winkel durch den Fixationspunkt gelegt ist, begünstigt. Die individuellen Schwankungen, die in letzterer Beziehung stattfinden, haben wahrscheinlich darin ihren Grund, daß bald die Bedeutung der Primärlage für die räumliche Ausmessung in der Nähe liegender Gegenstände, bald die Form des gewöhnlichen Sehfeldes, wie es beim Fernsehen sich feststellt, von größerem Gewicht ist. Wo die Bedeutung der Primärstellung in den Vordergrund tritt, da wird sich ein solches Lageverhältnis der korrespondierenden Punkte ausbilden, daß die senkrecht zur Visierebene im Blickpunkt errichtete Gerade auf korrespondierende Meridiane fällt. Wo das Sehen in die

Ferne überwiegt, da wird der Einfluß der Bodenebene bestimmender sein. So erklärt es sich, daß bei Kurzsichtigen die Neigung der scheinbar vertikalen Meridiane sehr klein ist oder völlig verschwindet. Konvergieren die Blicklinien asymmetrisch von der Primärstellung aus, so wird dadurch der Vertikalhoropter nicht verändert. Auch der Horizontalhoropter besteht wieder aus zwei Ebenen, von denen die eine mit der Visierebene zusammenfällt. Die zweite geht aber nicht mehr durch den Fixationspunkt, sondern liegt seitlich von demselben. Demgemäß ist denn auch Totalhoropter der in der Visierlinie gelegene Kreis, wie vorhin, und außerdem eine Gerade, die entweder senkrecht zur Visierebene steht oder zu derselben geneigt ist, je nach der Lage der scheinbar vertikalen Meridiane, immer aber seitlich vom Fixationspunkt liegt. Hiernach kann auch der letzteren Linie eine Bedeutung für die Ausmessung der Richtungen im Sehfeld nicht mehr zukommen: der physiologisch bedeutsame Horopter beschränkt sich also auf den durch die Kreuzungspunkte der Visierlinien gelegten Kreis, der die Ausmessung ausschließlich jener Linien begünstigt, die in der Visierebene liegen. In solchen symmetrischen Konvergenzstellungen endlich, in denen die Visierebene von der Primärlage aus gehoben oder gesenkt ist, wird der Vertikalhoropter wieder eine Kegelfläche, die je nach der Neigung, welche die vertikalen Netzhautmeridiane erfahren haben, entweder unter oder über der Visierebene ihre Spitze hat. Der Horizontalhoropter besteht abermals aus zwei Ebenen, von denen die eine die Medianebene ist, die andere durch die Kreuzungspunkte der Visierlinien geht, aber nicht mit der Visierebene zusammenfällt, sondern zu ihr geneigt ist. Totalhoropter ist daher eine in der Medianebene durch den Fixationspunkt gehende Gerade und eine Kreislinie, die diesmal nicht den Fixationspunkt, sondern einen andern Punkt jener Geraden schneidet. Demnach ist der für das Sehen in Betracht kommende Teil des Horopters nur die in der Medianebene liegende Gerade. Wie also in den asymmetrischen Konvergenzstellungen von der Primärlage aus nur die Ausmessung von Linien in der Visierebene, so ist in den symmetrischen Konvergenzstellungen außerhalb der Primärlage die Ausmessung von Linien in der Medianebene begünstigt; allein in den symmetrischen Konvergenzstellungen von der Primärlage aus sind beide zugleich bevorzugt. In diesen Verhältnissen liegt ausgedrückt, daß es zwei Hauptrichtungen des Sehens gibt, die den zwei Hauptrichtungen der Blickbewegung korrespondieren. Bei der einen werden vorzugsweise gerade Linien in der Medianebene deutlich aufgefaßt: hier wandert, wenn das Auge bewegt wird, der Blickpunkt innerhalb der Medianebene; bei festgehaltener symmetrischer Konvergenz verändert sich also die Lage der Visierebene. Mit der letzteren wechselt dann zugleich die Richtung derjenigen Geraden, deren genaue Auffassung begünstigt ist. In den Stellungen unterhalb der Primärlage ist dieselbe so zur Visierebene geneigt, daß ihr oberes Ende vom Sehenden abgekehrt ist; in den Stellungen oberhalb der Primärlage ist dasselbe im allgemeinen dem Sehenden zugekehrt. In der Primärlage selbst steht die begünstigte Medianlinie entweder senkrecht zur Visierebene, oder sie ist noch im selben Sinne wie bei den tieferen Lagen geneigt, so daß erst in einer etwas höheren Stellung die senkrechte Lage eintritt. Diese Richtungsänderungen der begünstigten Linien hängen vermutlich wieder damit zusammen, daß im gewöhnlichen Sehfelde der gesenkte Blick auf die Fußbodenebene fällt, die sich vom Sehenden scheinbar ansteigend zum Horizont erstreckt, der gehobene

Blick dagegen dem Zenith sich nähert, von dem das Sehfeld zum Horizont abfällt. Dieser Form fügt sich aber nicht bloß das unendlich entfernte Himmelsgewölbe, sondern auch eine nähere Fläche, die wir bei aufwärts gekehrtem Blick betrachten. Die ebene Decke eines größeren Zimmers z. B. oder das Laubdach eines ebenen Waldwegs sieht man sich zum Horizont senken, ähnlich wie die Bodenebene zu demselben ansteigt. Bei der zweiten Hauptrichtung des Sehens sind die in dem Horopterkreis liegenden Gegenstände in bezug auf ihre deutliche Auffassung begünstigt. Diese Hauptrichtung geht von einer fest bestimmten Lage der Visierebene, der Primärlage, aus, in der dann bei gleichbleibendem Konvergenzwinkel der Blick nach rechts und links gewendet werden kann, während die Bilder der in jenem Kreis gelegenen Objekte sich fortwährend über korrespondierende Stellen der Netzhauthorizonte bewegen. In diesem Falle ist die Tatsache entscheidend, daß nähere Gegenstände, die wir in horizontaler Richtung mit dem Blick ausmessen, vorzugsweise unter dem Horizont liegen, also mit gesenktem Blick beobachtet werden. Der Horizont selbst bildet die obere Grenze solcher Horizontaldistanzen: er fordert aber im allgemeinen eine Parallelstellung der Augen. Nachdem so durch die Verhältnisse des gewöhnlichen Sehfeldes die geneigte Lage der Primärstellung gefordert ist, wählen wir diese dann auch unwillkürlich bei solchen Beschäftigungen, bei denen es uns, wie beim Lesen und Schreiben oder bei feinen mechanischen Arbeiten, auf eine besonders genaue Auffassung in der horizontalen Sehrichtung ankommt. Dabei ist freilich nicht zu übersehen, daß nicht minder die Muskeln unserer Arme und Hände in einer Weise eingerichtet und eingeübt sind, die eine solche Haltung des Auges verlangt. Auch hier sind es also wieder mannigfaltige Bedingungen, die nach einem Ziele zusammenwirken.

In asymmetrischen Stellungen außerhalb der Primärlage gibt es zwar ebenfalls noch eine Horopterlinie. Letztere ist in diesem Fall eine Kurve doppelter Krümmung, die durch den Schnitt zweier Hyperboloide entsteht. Es liegt aber keine Wahrscheinlichkeit vor, daß diese Linie für das Sehen irgendeine Bedeutung habe. Die genannten Augenstellungen verhalten sich daher in dieser Beziehung nicht anders, als wenn der Blickpunkt der einzige korrespondierende Punkt wäre. Begünstigte Richtungen des Sehens kann es hier nicht geben, da die Horopterkurve in keinem Fall mehr eine durch den Blickpunkt gehende Linie ist. Nach dem Listingschen Gesetze sind demnach in der Primärlage alle Richtungen des Sehens dadurch bevorzugt, daß in ihnen die Orientierung des einzelnen Auges bei der Bewegung des Blicks konstant bleibt. Jede in der Primärlage durch den Fixationspunkt gehende Gerade verschiebt sich bei der Bewegung im Netzhautbild des einzelnen Auges in sich selber. Für das binokulare Sehen reduzieren sich diese begünstigten Richtungen auf die zwei Hauptrichtungen. Dabei haben jedoch, wie es scheint, die bei den Konvergenzstellungen eintretenden Abweichungen vom Listingschen Gesetze die Bedeutung, daß sie eine zweite tiefere Primärlage speziell für das Sehen in der Nähe hervorbringen[1].

[1] Helmholtz, Physiologische Optik[1], S. 695. [2] S. 841 ff. Hering, Hermanns Handbuch, Bd. 3, I, S. 351 ff. Über empirische Horopterbestimmungen mittels Doppelbilder vgl. Chr. Ladd Franklin, Amer. Journ. of Psychol., vol. 1, 1887, p. 99. A. Tschermak, Pflügers Archiv, Bd. 81, 1902, S. 328.

Eigentümliche Abweichungen von den beim normalen Doppelauge stattfindenden Zuordnungen der beiden Netzhautflächen finden sich bei Schielenden, sofern sich ein stationärer Zustand ausgebildet hat und das schielende Auge nicht, wie es bei hochgradigen Formen vorkommen kann, seine Funktion einbüßt. Es können sich dann neue, den veränderten Bedingungen angepaßte Zuordnungen ausbilden, infolge deren die in den früheren Stadien vorhanden gewesenen Doppelbilder wieder verschwinden. Wie es diese Kompensationen unmöglich machen, die binokulare Zuordnung überhaupt als eine absolut feste, von den äußeren Bedingungen des Sehens unabhängige aufzufassen, so bieten sie offenbar einen analogen Beweis für die Einwirkung der Funktion auf die binokulare Synergie der beiden Netzhäute, wie ein solcher unter den normalen Verhältnissen des Sehens bereits in der Abweichung der »korrespondierenden« von den »identischen« Stellen gelegen ist[1].

Indem die Einflüsse, welche die konstantere Zuordnung der korrespondierenden Punkte bedingen, und diejenigen, welche von der variabeln Auffassung des Sehfeldes ausgehen, nebeneinander zur Geltung kommen, bildet sich im

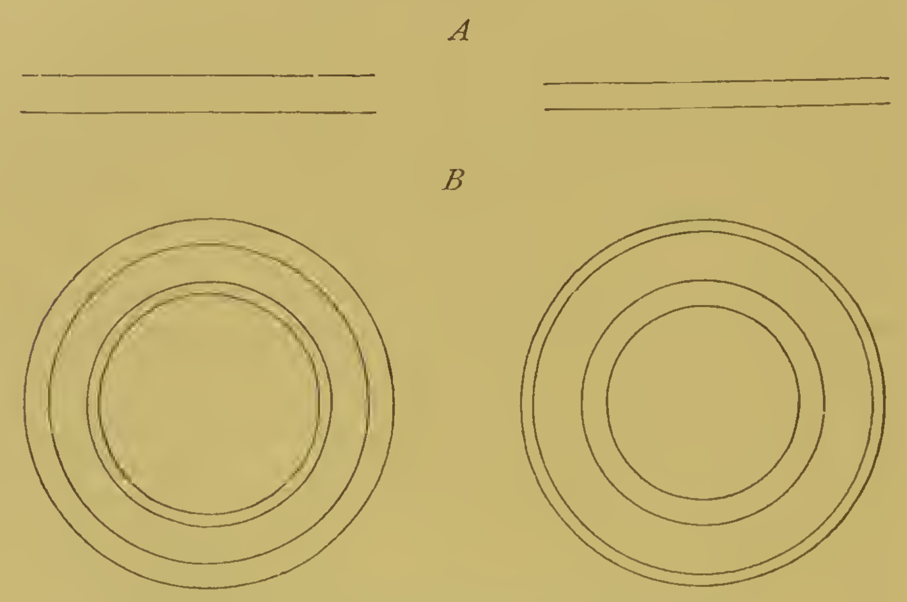


Fig. 309. Binokulare Verschmelzung abweichender Bilder.

allgemeinen eine Neigung aus, solche Bilder beider Netzhäute, die sich in Form und Größe sehr nahe kommen und nahezu korrespondierende Stellen decken, in eine Vorstellung zu verschmelzen, auch wenn die sonstigen Motive einer

[1] A. GRAEFE, GRAEFE und SÄMISCHS Handb. der Augenheilkunde[2], Bd. 8, 2, S. 97 ff. Vgl. über diese Erscheinungen, über deren Deutung, namentlich mit Rücksicht auf die Frage, ob sich eine neue Korrespondenz, oder ob sich bloß eine Zuordnung neuer Sehrichtungen ausbildet, übrigens unter den Ophthalmologen, zumeist unter dem Einfluß der allgemeinen Theorien des Sehens, vielfach noch gestritten wird, M. SACHS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 43, 3, 1897, S. 597. A. TSCHERMAK, ebend. Bd. 47, 3, 1899, S. 508. BIELSCHOWSKY, ebend. Bd. 50, 2, 1900, S. 406. HOFMANN und BIELSCHOWSKY, PFLÜGERS Archiv, Bd. 80, 1900, S. 1 ff. Dazu oben S. 658.

Verschmelzung, die aus der Lagebestimmung im Sehfeld hervorgehen, fehlen. Wenn man z. B. zwei Kreise von etwas ungleichem Radius zieht und sie in Parallelstellung oder symmetrischer Konvergenz zur Vereinigung bringt, so verschmelzen dieselben in die Vorstellung eines Kreises. Ähnlich verhält es sich, wenn man zwei horizontale Linien von ungleicher Distanz binokular vereinigt, wie in Fig. 309 *A*. Ebenso verschmelzen die vier Kreise in Fig. 309 *B*. Hieraus geht hervor, daß die Unterschiede nicht-korrespondierender Stellen beider Netzhäute unter allen Umständen viel leichter verschwinden als Unterschiede im Sehfeld des einzelnen Auges, indem auch bei relativ nicht unbeträchtlichen Abweichungen die binokularen Eindrücke immer noch auf einfache Objekte bezogen werden können. Doch gelingt es oft, namentlich bei starrer Fixation, die unter gewöhnlichen Umständen verschmelzenden Eindrücke zu Doppelbildern auseinanderzutreiben. Ferner müssen in allen diesen Fällen, die den Bedingungen des normalen Sehens widerstreiten, die Unterschiede immerhin weit geringer sein, als wenn eine Beziehung auf bestimmte Lageverhältnisse der Gegenstände möglich ist. So können zwei vertikale Linienpaare bei einem viel größeren Distanzunterschied vereinigt werden als zwei horizontale (Fig. 310). Denn bei der Kombination der Linienpaare *a b* und *c d* (Fig. 310) entsteht die Vorstellung eines Tiefenunterschieds. Denken wir uns zwei Linien im Raume, von denen die rechts gelegene weiter vom Beobachter entfernt ist als die linke, so entwerfen dieselben bei naher Betrachtung in der Tat im linken Auge ein Bild *a b*, im rechten ein Bild *c d*. Bei Horizontallinien kann dagegen ein solcher Distanzunterschied der Bilder nur bei stark seitlicher Lage des Objekts vorkommen, und er kann hier, weil seitliche Objekte zu bald aus unserm Gesichtsfeld verschwinden, bei weitem keinen so hohen Grad erreichen. Dem entsprechend fand Volkmann, daß die Unterschiede bei vertikaler Richtung das 4- bis 6 fache derjenigen bei horizontaler betragen durften; doch waren die individuellen Schwankungen bedeutend[1].

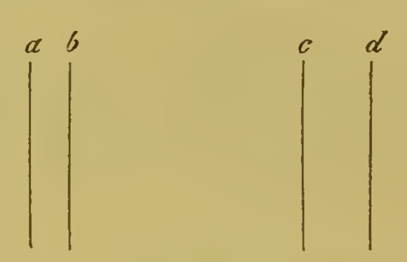


Fig. 310. Binokulare Kombination vertikaler Linienpaare.

Einen großen Einfluß auf die Trennung der Doppelbilder, mögen dieselben nun durch die Beziehung auf bestimmte Lageverhältnisse der Objekte erschwert sein oder nicht, übt auch die Anbringung gewisser Merkzeichen aus, welche die Vereinigung in eine einzige Vorstellung hindern. So widersetzen sich die Linienpaare in Fig. 311 *A* der Verschmelzung infolge der beiden Horizontallinien. Dasselbe tritt aber auch schon ein, wenn man, wie in *B*, von zwei zu kombinierenden Linien die eine durch einen rechts, die andere durch einen links beigesetzten Punkt auszeichnet. In allen diesen Fällen, die noch in der mannigfaltigsten Weise variiert werden können[2], schwindet zugleich mit dem Eintritt der Doppelbilder alsbald die Vorstellung einer verschiedenen Tiefenentfernung der Linien.

Wie in den zuletzt beschriebenen Versuchen die Trennung der auf nicht korrespondierende Stellen fallenden Bilder durch besondere Zeichen begünstigt

[1] Volkmann, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 5, 2, 1859, S. 32 ff.
[2] Vgl. Volkmann, a. a. O. S. 19 ff. Panum, Das Sehen mit zwei Augen, S. 64 ff.

wird, so kann endlich umgekehrt durch auszeichnende Merkmale die Vereinigung der auf korrespondierenden Stellen entworfenen verhindert werden, falls gleichzeitig andere Momente ein Auseinanderfallen der Deckpunkte und der korrespondierenden Punkte veranlassen. Hierher gehört der in Fig. 312 wiedergegebene WHEATSTONEsche Versuch. Links befindet sich eine dicke, rechts ihr parallel eine feine Vertikallinie, außerdem noch eine ebenfalls dick



Fig. 311. Doppelbilder mit Merkzeichen.

ausgezogene Linie von etwas anderer Richtung. Bringt man nun diese Zeichnungen binokular zur Deckung, so werden die beiden dicken Linien vereinigt, und zwar erwecken sie die Vorstellung eines sich in die Tiefe erstreckenden Stabes, die feine Linie aber wird isoliert gesehen[1]. Dieser Versuch ist mehrfach bestritten oder auf die oben (S. 633) erwähnten Fusionsbewegungen der

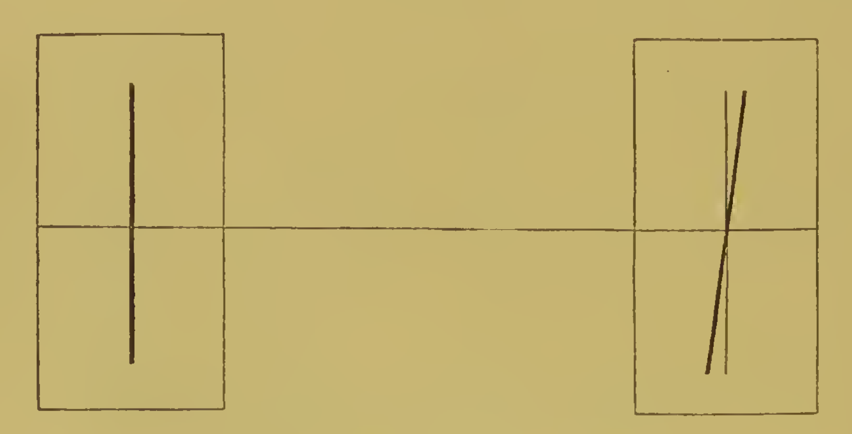


Fig. 312. WHEATSTONEscher Versuch.

Augen zurückgeführt worden[2]. Aber selbstverständlich kann hier der Umstand, daß es zuweilen gelingt, die korrespondierenden Linien statt der disparaten zu verschmelzen, nichts beweisen; und Fusionsbewegungen lassen sich teils durch eine den Umfang derselben überschreitende Neigung der Linie teils dadurch ausschließen, daß man noch andere Linien im Gesichtsfeld anbringt,

---

[1] WHEATSTONE, POGGENDORFFS Annalen, 1842, Ergänzungsbd., S. 30. Eine andere Form des Versuchs siehe bei NAGEL, Das Sehen mit zwei Augen, S. 81.

[2] BRÜCKE, MÜLLERS Archiv, 1841, S. 459. VOLKMANN, a. a. O. S. 74. SCHOEN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 24, 3, 1878, S. 61.

z. B. die umrahmenden Vierecke, die ihre scheinbare Richtung nicht verändern und sich fortwährend decken; zudem spricht dagegen die deutliche Tiefenvorstellung, sowie die von DONDERS bemerkte Tatsache, daß bei entsprechender horizontaler Anordnung der Linien, wo die Tiefenvorstellung hinwegfällt, der Versuch nicht gelingt[1].

Eine belehrende Modifikation dieser Versuche besteht ferner darin, daß man statt der objektiven Bilder binokular erzeugte Nachbilder anwendet, die in der nämlichen Weise, wie es früher (S. 556 ff.) an monokularen Nachbildern gezeigt wurde, in wechselnder Weise nach außen projiziert werden können. Schon WHEATSTONE[2] und ROGERS[3] bemerkten hierbei, daß Nachbilder, die in beiden Augen auf nicht-korrespondierenden Netzhautstellen liegen, kombiniert werden können. Versucht man nun aber den Einfluß zu ermitteln, den die Vorstellung von der Lage des Sehfeldes, in das die Nachbilder verlegt werden, auf die binokulare Verschmelzung derselben ausübt, so ergibt sich, daß die Nachbilder beider Augen auf irgendeine ihrer Form und Richtung nach bekannte Fläche nach denselben Gesetzen projiziert werden, nach denen auch das einzelne Auge die Nachbilder in sein Sehfeld verlegt, daß also die binokularen Nachbilder dann miteinander verschmelzen, wenn sie auf Deckstellen des Sehfeldes bezogen werden[4]. Fixiert man z. B. (Fig. 313) mit dem rechten Auge einen farbigen Streifen a auf komplementärfarbigem Grunde, und projiziert man dann das Nachbild desselben auf eine Ebene, die gleich der Ebene des ursprünglichen Streifens senkrecht zur Visierebene ist, so behält das Nachbild dieselbe Lage wie sein Erzeugungsbild. Dreht man aber die Projektionsebene um eine horizontale Achse $\alpha\beta$, so daß sich das obere Ende vom Beobachter wegkehrt, so geht das Nachbild aus der Lage a in die Lage c über. Ähnlich nimmt ein im linken Auge erzeugtes Nachbild b auf einer zur Visierebene senkrechten Projektionsebene zunächst die Lage b an, aus der es, wenn die Ebene in der oben angegebenen Weise gedreht wird, ebenfalls in die Lage c übergeht. Erzeugt man nun gleichzeitig im rechten Auge ein Nachbild a, im linken ein Nachbild b, und fixiert dann den Punkt γ, so sieht man zunächst zwei Nachbilder a und b, die sich in γ kreuzen. Dreht man aber jetzt die Ebene in der oben angegebenen Weise vom Beobachter weg, so verschmelzen beide in das eine Nachbild c. VOLKMANN hat diesem Resultat widersprochen. Er behauptet, die beiden Nachbilder blieben bei der Drehung der Ebene doppelt, und nur dann, wenn man das linke Auge schließe, nehme a die Richtung c, ebenso wenn man das rechte schließe, b die Richtung c an[5]. Vermutlich

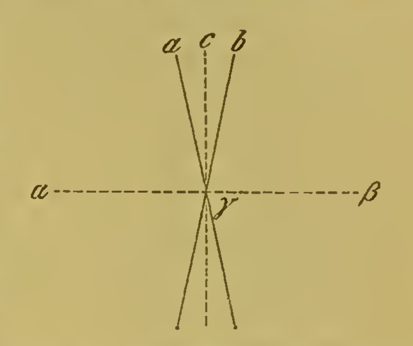


Fig. 313. Nachbildversuch zur Nachweisung der binokularen Bildverschmelzung durch Tiefenprojektion.

[1] DONDERS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, 1876, S. 417.
[2] POGGENDORFFS Annalen, a. a. O. S. 46.
[3] SILLIMANS Journal, Nov. 1860.
[4] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 271 f.
[5] VOLKMANN, Physiologische Untersuchungen im Gebiet der Optik, Bd. 1, S. 169. Vgl. auch SCHOEN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 24, 4, 1878, S. 57.

beruht dies darauf, daß es einzelnen Beobachtern nicht gelingt, die Nachbilder auf die geneigte Ebene zu projizieren. Dafür spricht die folgende umgekehrte Form des Versuchs, die allerdings schwerer gelingt, die aber dann um so überzeugender ist. Man fixiere binokular zwei scheinbar vertikale farbige Streifen, so daß dieselben im gemeinsamen Bilde zu einem Streifen verschmelzen. Entwirft man nun das Nachbild auf eine Ebene, die stark zur Visierebene geneigt ist, so gelingt es zuweilen, dasselbe in der Form eines im Fixationspunkt sich kreuzenden Doppelbildes zu sehen. Bleibt aber trotzdem das Nachbild einfach, so habe ich stets die deutliche Vorstellung, daß dasselbe nicht auf der vorgehaltenen Ebene liegt, sondern in der Luft steht.

f. Das Stereoskop und die binokularen Wettstreitserscheinungen.

Das Stereoskop ahmt die natürlichen Bedingungen des körperlichen Sehens nach, indem es beiden Augen Bilder darbietet, wie sie ein in zureichender Nähe befindlicher körperlicher Gegenstand in ihnen entwerfen würde. Dabei ist man dann mittels des Stereoskopes imstande, die Bedingungen, die beim natürlichen Sehen nur für nahe gelegene Objekte gelten, auf entferntere zu übertragen. Denn in dem Stereoskop kann man Aufnahmen eines fernen körperlichen Gegenstandes verbinden, die in zwei Stellungen gemacht sind, welche die Distanz der beiden Augen voneinander weit übertreffen. Auf diese Weise geben uns z. B. die gewöhnlichen stereoskopischen Landschaftsphotographien ein körperliches Bild, wie es uns das natürliche Sehen nicht verschafft, da eine Landschaft von dem Standpunkte, auf dem sie übersehen werden kann, zu weit entfernt ist, als daß merkliche Verschiedenheiten der Netzhautbilder existierten. Das stereoskopische Bild entspricht also nicht der wirklichen Landschaft, sondern einem in der Nähe betrachteten Modell derselben. Ebenso verhalten sich photographische Aufnahmen vom Monde, die, an zwei zureichend entfernten Orten der Erde gemacht, diesen Weltkörper im Stereoskop plastisch erscheinen lassen.

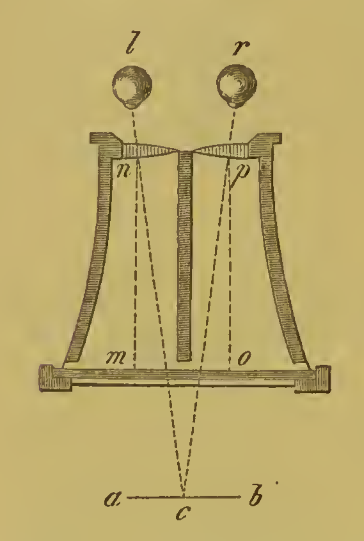


Fig. 314. Prismenstereoskop.

Die gewöhnliche, auch für die meisten psychologischen Versuche ausreichende Form des Stereoskops ist das zuerst von BREWSTER angegebene Prismenstereoskop (Fig. 314). Dasselbe besteht aus zwei Prismen, die mit ihren brechenden Kanten einander zugekehrt sind und hinter denen sich, durch eine vertikale Scheidewand getrennt, in etwa 20 cm Entfernung die beiden zu vereinigenden Bilder befinden. Die

Prismen sind aus einer Bikonvexlinse hergestellt, die in der Mitte durchschnitten ist, daher die Gläser des Stereoskops zugleich eine schwach vergrößernde Wirkung ausüben. Die von den Bildern *m* und *o* ausgehenden Strahlen *m n* und *o p* werden durch die Prismen so gebrochen, daß sie die Richtungen *n l* und *p r* annehmen, die sich in *c* schneiden; auf diesen Punkt stellt der Beobachter seine Blicklinien ein, so daß er das körperliche Bild nach *a b* verlegt. Der Zweck des Stereoskops besteht demnach lediglich darin, die binokulare Vereinigung der den beiden Augen dargebotenen Bilder zu erleichtern, indem es durch die in den Prismen erzeugte Ablenkung der Strahlen die Konvergenzeinstellung auf in bequemer Sehweite gelegene Punkte ermöglicht. Die meisten Beobachtungen, die im Vorangegangenen über die Vereinigung binokularer Bilder und über die Beziehungen zwischen der Beschaffenheit derselben und ihrer Projektion in das Sehfeld erwähnt wurden, lassen sich daher auch mit dem Stereoskop ausführen, wobei diese bequemere Beobachtungsweise überdies manche Variationen der Bedingungen gestattet, die auf die allgemeinen Verhältnisse des binokularen Sehens Licht werfen. So bemerkt man hier, im Einklang mit den ohne Stereoskop ausgeführten Versuchen, daß das ruhende Doppelauge im allgemeinen eine viel ungenauere Vorstellung von der körperlichen Form eines Gegenstandes empfängt als das bewegte, und daß für jenes die Vereinigung der zusammengehörigen stereoskopischen Bildteile zwar möglich, aber nicht notwendig ist. Diese treten vielmehr um so leichter zu Doppelbildern auseinander, einer je festeren Fixation man sich befleißigt. Dabei zeigt sich dann aber zugleich die einmal gebildete Vorstellung von wesentlichem Einflusse. Sobald man durch die Bewegung die Form eines Objektes aufgefaßt hat, ist es leicht, sie auch während der Ruhe festzuhalten. Ähnliches beobachtet man bei momentaner Erleuchtung der stereoskopischen Bilder mit dem elektrischen Funken. Meist sind hierbei mehrere aufeinander folgende Erleuchtungen mit wechselndem Blickpunkt erforderlich, um den stereoskopischen Effekt zu erzielen; und nur dann ist man überhaupt imstande, bei einer einzigen momentanen Erleuchtung die Tiefenvorstellung zu vollziehen, wenn zwei zusammengehörige Deckpunkte der beiden Bilder bereits vorher als Lichtpunkte bemerklich gemacht und fixiert worden waren.

Abgesehen von der Verwendung des Stereoskops zur Nachbildung der natürlichen Bedingungen des binokularen Sehens bietet dasselbe nun noch den weiteren Vorteil, daß es die Beobachtung der Effekte des Zusammenwirkens der beiden Augen unter beliebig von der Wirklichkeit abweichenden Bedingungen erleichtert. Erscheinungen, die

in diesem Sinne für die Frage der Wechselbeziehungen der beiden Netzhautflächen bedeutsam sind, bieten sich besonders dann, wenn die Licht- und Farbenbeschaffenheit der Erregungen in beiden Augen wesentlich verschieden ist, oder wenn diese zur Vereinigung völlig differenter Bilder genötigt werden. Wir wollen alle diese Erscheinungen, insofern bei denselben ein gewisser Widerspruch zwischen den für die beiden Augen vorhandenen Sehbedingungen besteht, unter dem Namen der Wettstreitsphänomene zusammenfassen, wobei freilich zu diesem Ausdrucke bemerkt werden muß, daß diejenige Erscheinung, die man nach ihrem subjektiven Charakter speziell als »Wettstreit der Sehfelder« zu bezeichnen pflegt, eine viel beschränktere Bedeutung hat und wesentlich nur einen Grenzfall zu den in einem weiteren und objektiven Sinn so genannten »Wettstreitsphänomenen« bildet.

Die Auffassung dieser Erscheinungen ist im allgemeinen von der im voraus gebildeten Annahme bestimmt worden, daß Eindrücke, die beide Netzhäute gleichzeitig treffen, im wesentlichen ebenso wirken müßten wie eine Addition der gleichen Eindrücke auf einer und derselben Netzhaut, abgesehen davon, daß etwa die vorwiegende Richtung der Aufmerksamkeit auf ein einzelnes Auge ausschließlich den einen der beiden Eindrücke zum Bewußtsein bringe. Danach betrachtete man die Mischung der Empfindungen als das natürliche, normale Vorkommen, neben dem dann nur noch gelegentlich die Verdrängung des einen Sehfeldes durch das andere und im Moment einer solchen Verdrängung der Wettstreit eine Rolle spiele[1]. Dabei werden aber gerade diejenigen Erscheinungen meist nur beiläufig gestreift, die für diese binokularen Wechselwirkungen charakteristisch sind und sie von vornherein von den im einzelnen Auge vorkommenden Mischungseffekten fundamental unterscheiden. Solche Erscheinungen sind der stereoskopische Glanz, der binokulare Kontrast und der Einfluß der Fixationslinien auf das binokulare Sehfeld.

Der von DOVE entdeckte stereoskopische Glanz ist ein Phänomen, das sich regelmäßig bei der Vereinigung zweier stereoskopischer Bilder von verschiedener Helligkeit oder Farbe darbietet, so lange man nur die Bedingungen so wählt, daß die unten zu erwähnenden Kontrasteinflüsse nicht die Grenze erreichen, wo eine vollständige Verdrängung

[1] Vgl. z. B. PANUM, Das Sehen mit zwei Augen. 1858, S. 40 ff. AUBERT, Physiologie der Netzhaut, S. 293 ff. HERING, HERMANNS Handbuch, Bd. 3, I, S. 591 ff. EBBINGHAUS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 46, 1890, S. 498. Anderseits hat allerdings schon HELMHOLTZ gegenüber dieser Vermengung der binokularen Wettstreitsphänomene mit der monokularen Farbenmischung bemerkt, daß er für seine eignen Augen eine eigentliche binokulare Farbenmischung überhaupt nicht bestätigen könne. (Physiologische Optik[1], S. 778. [2] S. 928.)

des einen Bildes eintritt[1]. Ausgedehntere Bilder von gleichfarbigen Flächen befördern das Auftreten des stereoskopischen Glanzes, während dicht gedrängte Konturen ihn infolge der unten zu erwähnenden, mit dem Kontrast zusammenhängenden Randwirkungen verhindern. Dagegen begünstigt wiederum die Begrenzung der Objekte seine Entstehung. Am schönsten erhält man ihn daher bei der Vereinigung einer schwarzen und einer weißen oder grauen oder zweier farbiger, von deutlichen Konturen umgrenzten gleich großen Flächen, vorausgesetzt daß man die Helligkeitsunterschiede, um Verdrängung zu vermeiden, nicht zu groß wählt. Der stereoskopische Glanz ist also das eigentliche Phänomen der binokularen Mischung. Eine binokulare Mischung von Farben oder Helligkeiten ohne Glanz kommt überhaupt kaum vor. Das Wesen des Glanzes besteht aber durchaus nicht, wie zuweilen behauptet wurde, in einer größeren Intensität des Eindrucks, sondern lediglich darin, daß hinter einer Fläche von bestimmter Farbe oder Helligkeit eine andere Fläche von abweichender Farbe oder Helligkeit gesehen wird. Glanz, Durchsichtigkeit und Spiegelung sind daher engverbundene und ineinander übergehende Erscheinungen. Sobald wir hinter einem Objekt ein anderes erblicken, das durch einigermaßen deutliche Konturen sich abhebt und daher in eine bestimmte Entfernung hinter jenem verlegt wird, so entsteht der Eindruck zweier Flächen, von denen die eine als die nähere, die andere als die durch sie hindurch gesehene fernere erscheint. Sobald dagegen die Konturen verschwimmen, so entsteht der Eindruck des Glanzes, bei dem zwar immer noch die beiderlei Lichteindrücke gesondert werden, aber der des hindurchgesehenen oder gespiegelten Bildes nicht mehr auf ein bestimmtes, irgendwie begrenztes Objekt bezogen wird. Dieser Entstehungsweise gemäß sind denn auch die eigentümlichen Empfindungskomplexe, welche die Phänomene der Durchsichtigkeit, der Spiegelung und des Glanzes auszeichnen, durchaus nicht an das binokulare Sehen gebunden, sondern der stereoskopische Glanz ist nur ein Spezialfall einer Gruppe von Erscheinungen, die auch im monokularen Sehen vorkommen. Monokular entsteht nämlich die Vorstellung des Durchsichtigen jedesmal dann, wenn wir auf ein und dasselbe Auge zwei in gleicher Richtung, aber aus verschiedener Entfernung kommende Eindrücke einwirken lassen, die zugleich irgendwie, z. B. durch begrenzende Konturen, die Nötigung mit sich führen auf sie verschieden zu akkommodieren. Unter diesen Bedingungen tritt auch unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens die Vorstellung des Durchsichtigen oder in den oben angegebenen Grenzfällen die des

[1] Dove, Berichte der Berliner Akademie, 1850, S. 152. 1851, S. 246. Darstellung der Farbenlehre. 1853, S. 166.

Glanzes ein. Jene Vorstellung des Durchsichtigen entsteht daher nicht bloß dann, wenn das Objekt wirklich durchsichtig ist, sondern genau in derselben Weise, wenn es eine spiegelnde Oberfläche hat, die das Bild eines zweiten Objektes zurückwirft. Man kann daher künstlich diesen Schein des Durchsichtigen leicht auf folgendem Wege erzeugen. Man halte über ein horizontal liegendes schwarzes oder farbiges Papierstückchen *a* (Fig. 315) eine farblose schräg geneigte Glasplatte *g*, und lasse in dieser eine vertikal gehaltene weiße Papierfläche *c* sich spiegeln, auf der irgend ein scharf begrenztes Objekt angebracht ist, z. B. ein kleineres farbiges Papierstückchen *b*. Gibt man der Glasplatte eine Neigung von 45°, so scheint dem Auge *o* das Objekt *b* unmittelbar auf der Fläche *a* zu liegen. Es tritt dann einfache Farbenmischung ein. Vergrößert man aber den Winkel zwischen der Fläche *c* und der Glasplatte, indem man *c* in die Lage *c'* bringt, so scheint das Objekt *b* hinter *a*, bei *b'* zu liegen; es entsteht daher die Vorstellung, *a* sei durchsichtig, und es mischen sich nun die Eindrücke *a* und *b* nicht mehr einfach, sondern sie werden bis zu einem gewissen Grade gesondert, indem man jede Farbe oder Helligkeit auf die Konturen desjenigen Objektes bezieht, dem sie angehört. Sobald sich auf der Papierfläche *c* kein begrenztes Objekt befindet, sobald also keine Konturen wahrgenommen werden, so hört natürlich der Eindruck der Spiegelung auf, und es erfolgt bei allen Neigungen der Glasplatte einfache Mischempfindung. Anderseits macht das Objekt *a* bei diesen Versuchen um so vollständiger den Eindruck eines wirklichen Spiegels, je gleichmäßiger es ist. Dagegen wird dieser Eindruck gestört, wenn man auf *a* Ungleichmäßigkeiten der Färbung oder eine Zeichnung anbringt, die zur Akkommodation nötigt. Das nämliche kann man auch erreichen, wenn man dem Objekt *b* verwaschene Konturen gibt, so daß die scheinbare Entfernung seines Bildes von *a* undeutlich wird, oder wenn man bloß die weiße Papierfläche *c* sich spiegeln läßt, sie aber ungleichmäßig beleuchtet, so daß das Spiegelbild an verschiedenen Stellen ungleiche Helligkeit hat. In allen diesen Fällen tritt dann zugleich jene Modifikation der Spiegelung ein, die wir Glanz nennen. Wir bezeichnen in der Tat eine Oberfläche namentlich dann als spiegelnd oder durchsichtig, wenn sie deutliche Spiegelbilder entwirft, während sie sich doch durch irgendwelche Merkmale, wie Konturen, greller beleuch-

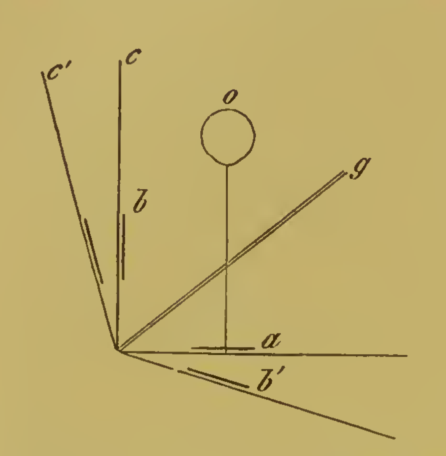


Fig. 315. Monokulare Spiegelungs- und Glanzerscheinungen.

tete Stellen u. dgl., als selbständiges Objekt verrät. Wir nennen dagegen eine Oberfläche glänzend, wenn entweder das entworfene Spiegelbild an sich sehr undeutlich ist, oder wenn durch Ungleichheiten der spiegelnden Fläche die deutliche Wahrnehmung desselben verhindert wird. Meistens treffen diese beiden Momente zusammen, da Ungleichheiten der spiegelnden Oberfläche, welche die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, in der Regel zugleich die Deutlichkeit des Spiegelbildes beeinträchtigen[1]. Man kann demnach Glanz künstlich auch dadurch hervorbringen, daß man hintereinander mehrere gleichzeitig durchsichtige und reflektierende dünne Platten auf einer das Licht nicht durchlassenden Unterlage übereinander schichtet. Die aus verschiedenen Entfernungen reflektierten Strahlen erzeugen dann einen äußerst lebhaften Glanz, der je nach der Farbe der durchsichtigen Plättchen dem Glanz verschiedener Metalloberflächen täuschend ähnlich sieht[2].

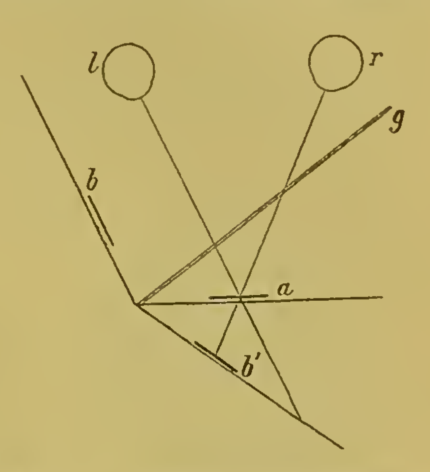


Fig. 316. Binokulare Spiegelungs- und Glanzerscheinungen.

Ganz diesen monokularen Erscheinungen der Spiegelung und des Glanzes entspricht nun der stereoskopische Glanz. In der Tat kann man denselben genau so wie im Stereoskop auch mittels einer spiegelnden Glasplatte binokular hervorbringen, wenn man z. B. den Versuch in der in der Fig. 316 dargestellten Weise einrichtet, wo das spiegelnde Objekt *a* von beiden Augen, das Spiegelbild *b'* aber nur vom rechten Auge gesehen wird: auch hier entsteht, wie im Stereoskop, je nach Umständen Spiegelung oder Glanz.

Spiegelung und Glanz sind demnach Erscheinungen, die nicht dem binokularen Sehen als solchem eigentümlich sind, die aber offenbar bei ihrer binokularen Erzeugung, wie sie das Stereoskop nachahmt, dadurch verstärkt werden können, daß die Eindrücke bestimmter voneinander gesondert und auf verschiedene Objekte bezogen werden. Denn überall setzen sich diese Erscheinungen aus zwei Faktoren zusammen. Davon gehört der erste der unmittelbaren Empfindung an, er hängt sichtlich mit der abweichenden Akkommodation zusammen, welche die in gleicher Richtung, aber verschiedener Entfernung gelegenen Objekte fordern. In-

[1] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 300 ff.

[2] A. KIRSCHMANN, Der Metallglanz und die Parallaxe des indirekten Sehens. Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 147 ff. Ich besitze eine von Prof. KIRSCHMANN hergestellte Kollektion aus Kombinationen von Gelatine- und Glimmerplättchen hergestellter Objekte, die bei auffallendem Licht von polierten Gold-, Messing-, Stahl-, Kupfer-, Silber-, Platinoberflächen kaum zu unterscheiden sind.

dem das deutliche Bild irgendeines Punktes der spiegelnden Fläche immer zugleich von einem Zerstreuungskreis des am gleichen Punkt aus größerer Ferne kommenden Lichtes umgeben wird, entsteht um so mehr, je diffuser jener Zerstreuungskreis ist, der Eindruck des Glanzes, dessen charakteristischer Empfindungsinhalt demnach eben in dieser eigentümlichen Verbindung deutlichen und undeutlichen Sehens besteht. Der zweite Faktor fällt in das Gebiet der Vorstellungsbildung. Jene Verbindung deutlich gesehener Punkte mit Zerstreuungskreisen bewirkt nämlich auch eine gewisse Zerlegung der auf eine und dieselbe Stelle der Netzhaut oder bei binokularem Sehen auf korrespondierende Stellen beider Netzhäute fallenden Eindrücke. Die Helligkeiten und Farben mischen sich nicht vollständig, sondern das in Zerstreuungskreisen Gesehene wird um so mehr, je mehr es zugleich qualitativ abweicht, gesondert. Dadurch wird, sobald das wirklich oder scheinbar gespiegelte Objekt irgendwelche selbständige Konturen oder Punkte besitzt, die Vorstellung zweier hintereinander gelegener Objekte erweckt, eines durchsichtigen und eines hindurchgesehenen, welche Vorstellung, sobald das gespiegelte Licht diffus wird und deutliche Punkte oder Konturen nicht mehr erkennen läßt, in Glanz übergeht.

Eine von dem stereoskopischen Glanz verschiedene, aber sich nicht selten mit ihm vermischende Erscheinung ist sodann der binokulare Kontrast. In der allgemeinen Richtung der Erscheinungen entspricht er durchaus dem monokularen Kontraste. Wie bei diesem jede Farbenerregung eine zu ihr komplementäre Farbenstimmung in der unmittelbaren Umgebung der gereizten Netzhautstelle hervorruft, so erscheint, wenn die Netzhaut des einen Auges mit irgendeiner Farbe gereizt wird, auf der des andern die Komplementärfarbe. Ist die gereizte Stelle der ersten Netzhaut eine beschränkte, so breitet sich gleichwohl über die ganze Netzhaut des andern Auges die komplementäre Kontrasterregung aus. Als eine unmittelbare Folge dieser ausgedehnten Wirkung ist es wohl anzusehen, daß, wenn beide Netzhäute gleichzeitig mit komplementärem Lichte gereizt werden, die zurückbleibenden Nachbilder von weit längerer Dauer als nach monokularer Reizung sind[1]. Werden dagegen die binokular kontrastierenden Reize unmittelbar während ihrer Einwirkung beobachtet, so ist stets, falls nicht in der oben beschriebenen Weise Glanz und durch diesen Mischung der Empfindungen eintritt, der hellere Eindruck durch den Kontrast zu dem dunkleren verstärkt, so daß der letztere ganz verschwinden kann. Hierauf beruhen zumeist die »Ver-

---

[1] FECHNER, Über einige Verhältnisse des binokularen Sehens. Abhandlungen der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 5, 1861, S. 469 ff.

drängungserscheinungen« bei diffuser binokularer Reizung, bei denen demnach die verdrängte Empfindung nicht überhaupt unwirksam wird, sondern sich vielmehr gerade in dieser Kontrasthebung der sie verdrängenden Empfindung betätigt. Einen schönen Beleg hierfür bietet FECHNERS sogenannter »paradoxer Versuch«: Blickt man mit dem einen Auge frei in den Himmel, während das andere geschlossen ist, und bringt man vor dieses ein graues Glas, so wird, sobald sich das geschlossene Auge öffnet, das gemeinsame Gesichtsfeld verdunkelt. Das Grau dieses Glases verdunkelt also mehr als das vorangehende Schwarz bei geschlossenem Auge. Die Verdunkelung vermindert sich aber, wenn man ein helleres graues Glas wählt; und von einer gewissen Grenze an nimmt die scheinbare Helligkeit nicht mehr ab sondern zu. Diese ganze Erscheinung erklärt sich offenbar daraus, daß die Empfindungen erst von dem Augenblicke an Mischungswirkungen hervorbringen, wo die beiden Helligkeiten einan-

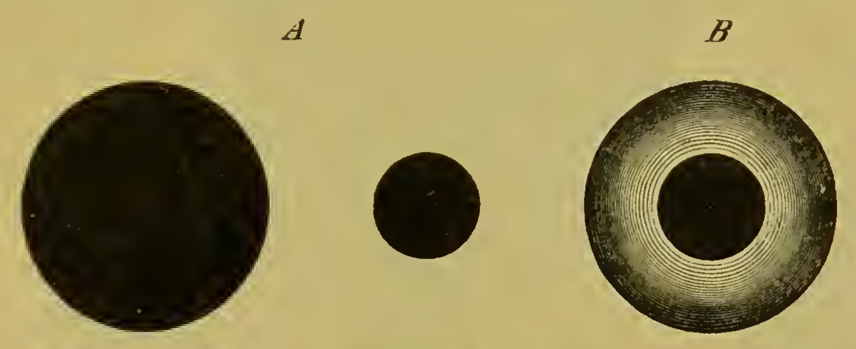


Fig. 317. Binokularer Randkontrast.

der nahe kommen, während andernfalls das dunkle Gesichtsfeld den hellen Eindruck des andern Auges durch Kontrast hebt, wobei es selber zugleich im Gesamtbild verschwindet[1].

Diese durch die Verhältnisse des binokularen Sehens bedingte Verbindung des Kontrastes mit Verdrängungserscheinungen tritt ferner noch in besonders intensiver Weise bei dem Phänomen des binokularen Randkontrastes hervor. In seiner unmittelbaren Erscheinung dem monokularen Randkontraste verwandt, unterscheidet sich derselbe doch, gerade so wie die oben erwähnten kontrastierenden Farbenstimmungen, durch seine weitere räumliche Ausdehnung. Außerdem verbindet er sich in der Regel mit Durchsichtigkeits- und Glanzphänomenen, deren Auftreten durch die Konturen, die der Randkontrast fordert, ebenfalls begünstigt wird. Bringt man z. B. die beiden schwarzen Kreise in Fig. 317 *A* im Stereoskop zur

---

[1] FECHNER, a. a. O. S, 416. WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 355.

Deckung, so erscheint das Verschmelzungsbild *B*. Man hat aber dabei zugleich den Eindruck, als werde der kleinere Kreis samt seiner nächsten Umgebung durch den größeren hindurch gesehen. Die nämliche Erscheinung entsteht, wenn man mit dem einen Auge durch eine offene Röhre auf eine helle Fläche blickt, mit dem andern durch eine gleiche Röhre, die vorn bis auf eine kleine Öffnung verschlossen ist. Man sieht

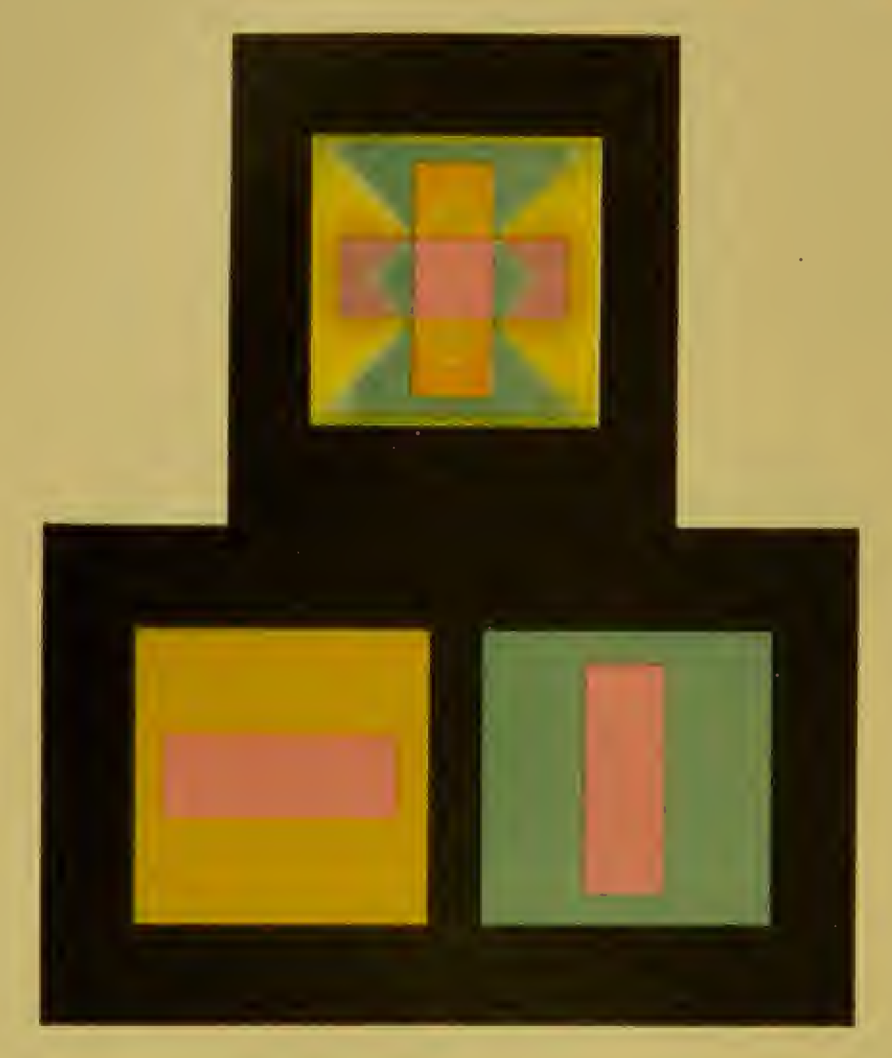


Fig. 318. Stereoskopische Kombination farbiger Objekte, nach PANUM.

dann im Sammelbild einen hellen Fleck umgeben von einem dunkeln Rand, der gegen die Peripherie hin allmählich heller wird. Auch an farbigen Objekten lassen sich diese binokularen Randkontraste hervorbringen, und sie bilden dann gerade durch ihre Verbindung mit Spiegelung und Glanz überaus reizvolle Phänomene. Ein Beispiel gibt Fig. 318. Das obere Bild zeigt das stereoskopische Gesamtbild; die beiden unteren sind die Teilbilder. Jede Begrenzungslinie zieht hier, wie man

sieht, ihre Umgebung in das Gesamtbild[1]. Häufen sich dagegen die Randkontraste dadurch, daß mehrere in gleichem Sinne wirkende Konturen auftreten, so kann auch diese Erscheinung infolge der weiten Ausdehnung der binokularen Kontrastwirkungen in totale Verdrängung übergehen. So geben die beiden Vierecke *A* und *B* in Fig. 319, wenn man sie auf grauem Grunde kombiniert, lebhaften Glanz; dieser verschwindet aber augenblicklich, wenn man, wie in *A'*, das weiße Viereck mit schwarzen Linien durchzieht: es nimmt dann das vereinigte Bild vollständig die Form *A'* an, und *B* wird verdrängt.



Fig. 319. Verdrängung durch gehäuften Randkontrast.

Neben Glanz und Kontrast übt endlich die Richtung der Blickbewegungen einen wichtigen Einfluß bei der binokularen Vereinigung disparater Bilder aus. Wo sich irgendwelche verschieden verlaufende Konturen in beiden Sehfeldern vorfinden, da treten nämlich im Sammelbilde stets diejenigen Konturen hervor, in deren Richtung die Blickbewegung verläuft, während die damit nicht übereinstimmenden des andern

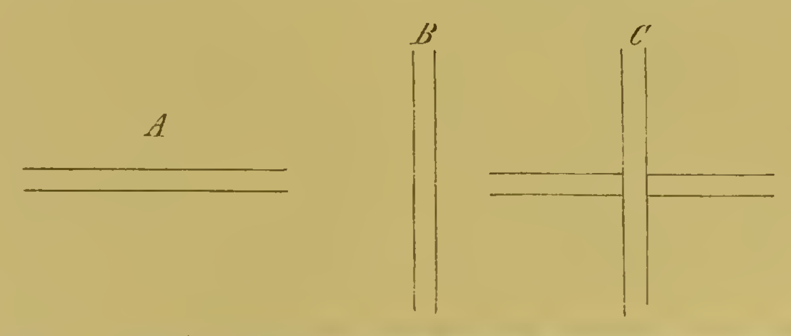


Fig. 320. Einfluß der Blickbewegung auf das binokulare Sammelbild.

Halbbildes zurücktreten. Wenn man z. B. das horizontale und das vertikale Paar paralleler Linien *A* und *B* in Fig. 320 stereoskopisch vereinigt, so bleibt im Sammelbilde sowohl das vertikale wie das horizontale Linienpaar bestehen, nur an der Durchkreuzungsstelle tritt abwechselnd das eine oder das andere in den Vordergrund; es entsteht also entweder ein Bild wie *C* oder wie die um 90° gedrehte Fig. *C*. Zieht man auf der einen Seite oder auf beiden mehrere parallele Linienpaare in größerem Abstande

[1] Weitere Abbildungen dieser Erscheinungen gibt PANUM (Das Sehen mit zwei Augen. 1858), der sie zuerst eingehend geschildert hat.

voneinander, so zeigt sich, daß für sie alle in jedem Augenblick dieselbe Art der Verdrängung existiert: es treten immer entweder die vertikalen oder die horizontalen Linien an den Kreuzungsstellen hervor. Dieser Wechsel ist aber vollkommen eindeutig durch die Richtung der Blickbewegung bestimmt, und man kann ihn daher willkürlich hervorbringen, wenn man diese variiert. Bei vertikaler Blickbewegung tritt unweigerlich jedesmal das Bild *C*, bei horizontaler das umgekehrte Bild hervor. Auch diese Verdrängungen verbinden sich wieder meist mit Spiegelungserscheinungen. Übrigens ist es ganz besonders dieser Einfluß der Blickbewegung, der dem eigentlichen »Wettstreit der Sehfelder« zugrunde liegt, d. h. jenem

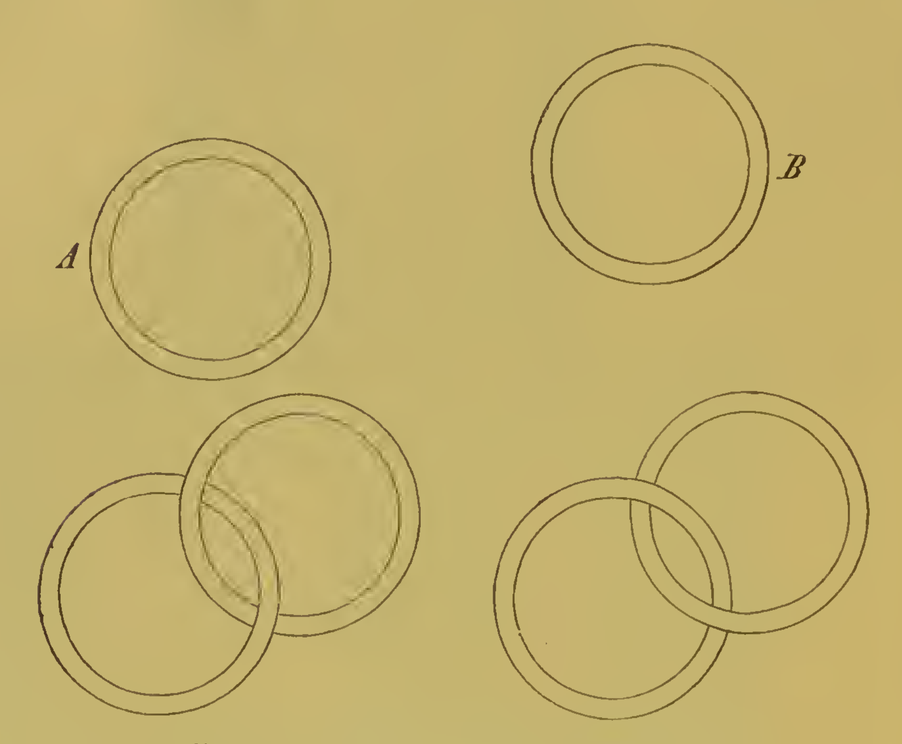


Fig. 321. Ringe im binokularen Sammelbild.

Phänomen, bei dem von den zwei den beiden Augen dargebotenen Bildern abwechselnd nur das eine oder das andere und bloß in Übergangsmomenten zuweilen eine Kombination beider gesehen wird. Dieses eigentliche Wettstreitsphänomen ist darum im ganzen eine Ausnahmeerscheinung, die besonders dann beobachtet wird, wenn die beiden Bilder entgegengesetzte Wirkungen auf die Blickbewegung ausüben. Deutliche Fälle solchen Wettstreits bieten z. B. die Figuren 321 und 322. In Fig. 321 zeigt das Sammelbild der beiden in ungleicher Höhe angebrachten Ringe *A* und *B* entweder die unter *A* oder die unter *B* gezeichnete Form: die erstere, bei der die vertikalen Konturen überwiegen, läßt sich willkürlich durch

vertikale Blickbewegungen erzeugen, die zweite durch horizontale. Bringt man, wie in Fig. 322, in beiden Bildern ganze Liniensysteme von entgegengesetzter Richtung an, die sich aber im Sammelbilde nirgends decken, so treten die eigentlichen Wettstreitsphänomene am leichtesten auf; und hier kann in einzelnen Momenten auch ein zusammengesetztes Sammelbild erscheinen. Doch ist dasselbe besonders an den Übergängen der vertikal und horizontal schraffierten Streifen unsicher, stellenweise lückenhaft, so als wenn das eine Objekt durch das andere hindurch gesehen würde. Sobald man eine bestimmte Richtung der Blickbewegung bevorzugt, so tritt aber auch hier wieder das entsprechende monokulare Bild allein auf.

So ist überhaupt, wo immer die Bedingungen zu einem Wettstreit gegeben sind, in jedem Moment dasjenige Bild bevorzugt, dessen Konturen in gleicher Richtung mit der zufällig oder absichtlich gewählten Blickbewegung verlaufen[1]. Daneben kann auch hier wieder die repro-

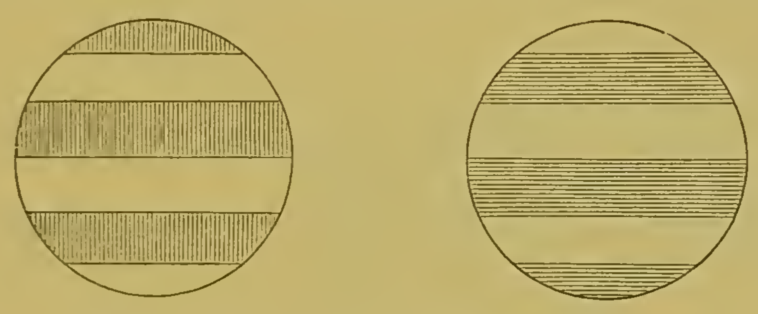


Fig. 322. Objekt für den Wettstreit der Sehfelder.

duktive Assimilation mitwirken, wie das z. B. die Sammelbilder in Fig. 319 verraten. Dagegen hat die Aufmerksamkeit, die man zuweilen für diese Phänomene wiederum verantwortlich gemacht hat, auf sie ebensowenig wie auf die des binokularen Kontrastes, namentlich des Randkontrastes, irgendeinen Einfluß. Die Erscheinungen folgen, wie alle andern des normalen monokularen und binokularen Sehens, mit zwingender Notwendigkeit aus ihren Bedingungen. Zugleich sind sie aber von den Wirkungen monokularer Mischung der Eindrücke wesentlich verschieden und entsprechen im allgemeinen, ganz ebenso wie die normalen stereoskopischen Tiefenwahrnehmungen, durchaus den eigenartigen Verhältnissen des binokularen Sehens. Darum sind die Spiegelung und der Glanz die Grunderscheinungen für alle Fälle binokularer Verbindung von Eindrücken, die von den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens irgendwie abweichen. Die scheinbare Mischung ist nur ein Grenzfall, bei

[1] Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 362.

dem wir uns vorstellen können, das nach verschiedener Richtung gespiegelte Licht besitze bloß einen sehr geringen Helligkeits- oder Farbenunterschied. Die stereoskopische Kombination gibt hier in der Tat denselben Eindruck, den ein Körper erwecken würde, der für beide Augen etwas verschieden beleuchtet wäre: es entsteht so im Grunde nur ein binokularer Glanz geringsten Grades. Bei der Verdrängung liegt derselbe Fall vor, wie er in Wirklichkeit bei der Betrachtung eines gespiegelten Gegenstandes stattfindet, der durch Farbe und Lichtstärke so vorherrscht, daß die spiegelnde Fläche selbst nicht gesehen wird. In die Wettstreitsphänomene endlich, die von den Vorkommnissen des natürlichen Sehens am meisten abweichen, spielen immer noch die Spiegelungserscheinungen hinein. An den Stellen, wo das eine Objekt das andere verdrängt, erscheint dieses durchsichtig; doch kann es dabei nicht mehr zu einer ruhigen Auffassung kommen, weil jedes Objekt ebenso gut als durchsichtiges wie als hindurchgesehenes vorgestellt werden kann. Aus der Gesamtheit dieser Erfahrungen folgt demnach, daß die Eindrücke beider Augen niemals wie die Erregungen einer und derselben Netzhaut sich mischen, daß sie aber stets zu einer einzigen, den allgemeinen Funktionsbeziehungen der beiden Augen entsprechenden Vorstellung verschmelzen.

Die Erfindung des Stereoskops durch WHEATSTONE[1] bezeichnet einen der bedeutsamsten Fortschritte in der Erkenntnis der Bedingungen des räumlichen Sehens. WHEATSTONE selbst wurde zu seiner Erfindung erst dadurch geführt, daß er auf die natürlichen Verschiedenheiten der Bilder naher körperlicher Objekte in beiden Augen aufmerksam wurde. Da nun alle im Stereoskop sich bietenden Erscheinungen auch mit freiem Auge wahrgenommen werden können, so sind stereoskopische Versuche ohne Stereoskop, wie sie zu der vorangegangenen allgemeinen Darstellung der Verhältnisse des Binokularsehens herangezogen wurden, nicht zu entbehren. Zur Einübung derartiger Versuche, bei denen es hauptsächlich auf eine willkürliche Beherrschung der Blickbewegungen ankommt, bedient man sich zweckmäßig des folgenden Verfahrens. Man wählt zunächst zwei einfache lineare Objekte, z. B. zwei vertikale Stäbe, die man durch Kreuzung der Gesichtslinien bald vor bald hinter ihnen zum Verschmelzen bringt. Hat man auf diese Weise gelernt, nach Willkür einen imaginären Blickpunkt zu wählen, so gelingt dann auch leicht die Kombination einfacherer stereoskopischer Zeichnungen, wie der Fig. 305 oder 306 (S. 649 u. 651). Man erhält hierbei von jeder der beiden Zeichnungen Doppelbilder, die nach der auf S. 644 gegebenen Regel bei der Konvergenz hinter dem Objekt gekreuzte sind. Wenn man jetzt die beiden mittleren Halbbilder zur Verschmelzung bringt, so entspricht demnach bei der Konvergenz hinter dem Objekt die rechts gelegene Zeichnung der Figg. 305 u. 306 dem Halbbild des rechten, die links gelegene dem des linken Auges; um-

[1] WHEATSTONE, POGGENDORFFS Annalen, Ergänzungsbd. 1842, S. 9.

gekehrt bei der Konvergenz vor dem Objekt. Man bemerkt daher, daß das Gesamtbild erhaben erscheint, die abgestumpfte Spitze dem Beobachter zugekehrt, wenn man die Zeichnungen durch Fixation eines hinter ihnen gelegenen Punktes zur Vereinigung bringt; das Relief kehrt sich um, das Bild erscheint vertieft, wenn man den Blickpunkt vor den Zeichnungen wählt. Es tritt hier derselbe Effekt ein, den man durch Vertauschen der für das rechte und linke Auge bestimmten Bilder im Stereoskop erhält. Zu stereoskopischen Versuchen bei momentaner Erleuchtung durch den elektrischen Funken dient ein innen geschwärzter Kasten aus Holz- oder Pappdeckel, an dem sich auf der einen Seite zwei Löcher in der Distanz der beiden Augen befinden. Diesen Löchern gerade gegenüber ist ein Schieber angebracht, auf dem die stereoskopischen Zeichnungen befestigt werden. Um vor eintretender Erleuchtung den Blickpunkt zu fixieren, ist die Mitte jeder Zeichnung samt dem Schieber durchbohrt: die beiden auf diese Weise entstehenden Lichtpunkte müssen durch Konvergenz vor oder hinter denselben verschmolzen werden. Die überspringenden Funken sind dem Auge durch eine kleine Papierfläche verdeckt, welche auf der den Drähten zugekehrten Seite weiß gelassen ist, so daß sie das Licht nach den Zeichnungen hin reflektiert. Zur Erleuchtung wendet man die Funken der sekundären Spirale eines RUHMKORFFschen Induktionsapparates an, die mit den Belegen einer Leydener Flasche verbunden werden[1]. Um die Versuche bei Tageslicht ausführen zu können, konstruierte übrigens VOLKMANN auch ein Tachistoskop, dessen Benutzung sich, weil dabei die störenden Wirkungen der Dunkeladaptation hinwegfallen, empfiehlt[2].

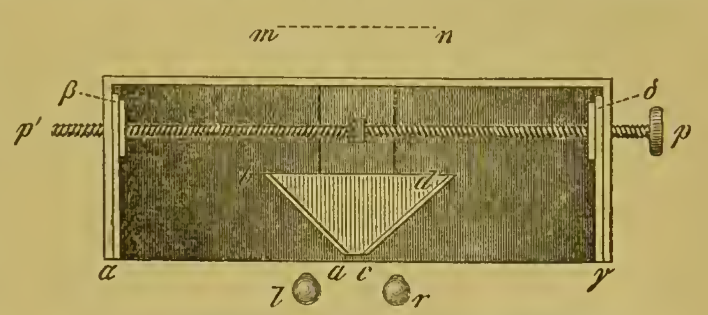


Fig. 323. Spiegelstereoskop nach WHEATSTONE.

Für die meisten stereoskopischen Versuche zu psychologischen Zwecken ist das oben beschriebene BREWSTERsche Stereoskop ausreichend. Für manche Fragen verdient aber das von WHEATSTONE ursprünglich konstruierte Spiegelstereoskop in der in Fig. 323 dargestellten Modifikation den Vorzug. Dasselbe besteht aus zwei Spiegeln *a b* und *c d*, deren Rückseiten einen Winkel von 90° miteinander bilden, *α β* und *γ δ* sind zwei Brettchen, vor welche den Spiegeln gegenüber die beiden Zeichnungen gelegt werden. Blickt nun das linke Auge in den Spiegel *a b*, das rechte in den Spiegel *c d*, so sieht man ein Bild, das einem bei *m n* gelegenen Objekt anzugehören scheint. Da aber die Spiegel rechts in links verkehren, so müssen die Zeichnungen die entgegengesetzte Lage erhalten wie in dem Prismenstereoskop. Bei einer Lage, bei der sie in letzterem erhöhtes Relief zeigen, geben sie im Spiegelstereoskop vertieftes, und umgekehrt. Für psychologische Versuche ist es ferner wün-

---

[1] Vgl. DOVE, Berichte der Berliner Akademie, 1841, S. 252. HELMHOLTZ, Physiologische Optik [1], S. 567, [2] S. 710.

[2] VOLKMANN, Berichte der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Kl. 1850, S. 90. Über tachistoskopische Vorrichtungen im allgemeinen vgl. Abschn. V.

schenswert, die Entfernung der Zeichnungen von den Spiegeln zu variieren. Zu diesem Zweck ist die Schraube pp' angebracht, durch deren Anziehen die beiden Wände $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ den beiden Spiegeln um gleiche Größen genähert werden können. Außerdem kann man den Neigungswinkel der beiden Spiegel veränderlich machen. Bringt man nun bei unveränderlichem Neigungswinkel der Spiegel die Zeichnungen in wechselnde Entfernungen von denselben, so bleibt die Konvergenz der Blicklinien unverändert, aber die Größe der Netzhautbilder wächst, wenn man die Zeichnungen näher rückt, und sie nimmt ab, wenn man sie entfernt: dies erweckt den Schein, als ob der körperlich gesehene Gegenstand am selben Orte bleibe, aber abwechselnd größer und kleiner werde. Läßt man umgekehrt die Zeichnungen unverrückt, während der Neigungswinkel der Spiegel verändert wird, so verändert sich bei gleichbleibender Größe der Netzhautbilder die Konvergenz der Gesichtslinien: wird der Winkel zwischen den Spiegeln stumpfer, so nimmt die Konvergenz ab, wird der Winkel spitzer, so nimmt sie zu. Im ersten Fall vermehrt sich die scheinbare Entfernung der Bilder, im zweiten vermindert sie sich. Hierbei bemerkt man dann stets, daß sich die scheinbare Größe des Gegenstandes im gleichen Sinne verändert, was der Erfahrung entspricht, daß bei gleichbleibendem Gesichtswinkel ein Gegenstand um so größer erscheint, in je größere Entfernung er verlegt wird.

Eine interessante Modifikation des Spiegelstereoskops ist das ebenfalls schon von WHEATSTONE konstruierte Pseudoskop. Es enthält zwei rechtwinkelig zur Visierebene gestellte Glasprismen, durch welche die stereoskopischen Reliefs der beiden binokularen Bilder miteinander vertauscht werden, so daß das umgekehrte Relief entsteht. Am einfachsten läßt sich natürlich das Relief umkehren, wenn man ein gewöhnliches stereoskopisches Doppelbild auseinander zieht und die beiden Hälften vertauscht. Sehr schön läßt sich auch ein erhabenes in ein vertieftes Relief überführen und umgekehrt, wenn man z. B. die mittleren kleinen Vierecke oder Kreise der Figg. 305 und 306 an einem Schieber beweglich macht, so daß sie bald mehr der Innen-, bald mehr der Außenseite der größeren Quadrate und Kreise genähert werden können: im ersten Fall tritt dann stereoskopischer, im zweiten pseudoskopischer Effekt ein[1].

Auf die Idee des Spiegelstereoskopes geht ferner das von HELMHOLTZ erfundene Telestereoskop zurück, welches plastische Bilder von wirklichen, aber entfernteren Gegenständen, z. B. von Landschaften, vermittelt. Zu diesem Zweck ist die Rückwand des WHEATSTONEschen Apparates hinweggenommen, und an Stelle der beiden Wände $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ befinden sich zwei schräggestellte, nach vorn offene Spiegel A und B (Fig. 324). Die von den entfernten Gegenständen kommenden Strahlen werden dann von diesen äußeren Spiegeln nach den inneren a und b des Stereoskops reflektiert und gelangen von da in die beiden Augen r und l des Beobachters. Dieser sieht demnach die Gegenstände mit beträchtlich vergrößerter Basaldistanz, so als wenn sich seine beiden

[1] Über pseudoskopische Instrumente vgl. M. VON ROHN, Die binokularen Instrumente, 1907, Zeitschr. für Psychol. usw. Bd. 41, 1907, S. 408 ff. Über weitere hierhergehörige Versuche BOURDON, La perception visuelle de l'espace, p. 273. M. STRATTON, Psych. Rev. vol. 5, 1898, p. 632 ff. J. R. EWALD und O. GROSS, PFLÜGERs Archiv, Bd. 119, 1906, S. 514.

Augen bei *R* und *L* befänden[1]. An das Telestereoskop hat sich eine Reihe weiterer Erfindungen angeschlossen, die zur stereoskopischen Beobachtung teils kleinerer, mikroskopischer, teils größerer, terrestrischer oder astronomischer Objekte sowie zur Messung von Distanzunterschieden derselben dienen: so das binokulare Mikroskop, das Doppelfernrohr mit erweitertem Objektivabstand, der Stereokomparator u. a.[2]. Bei allen diesen technisch-wissenschaftlichen Zwecken dienenden Instrumenten kommt, als ein Moment, das auch für die psychologischen Verhältnisse des binokularen Sehens von Interesse ist, dies in Betracht, daß man sich durchweg bei denselben, soweit sie zugleich

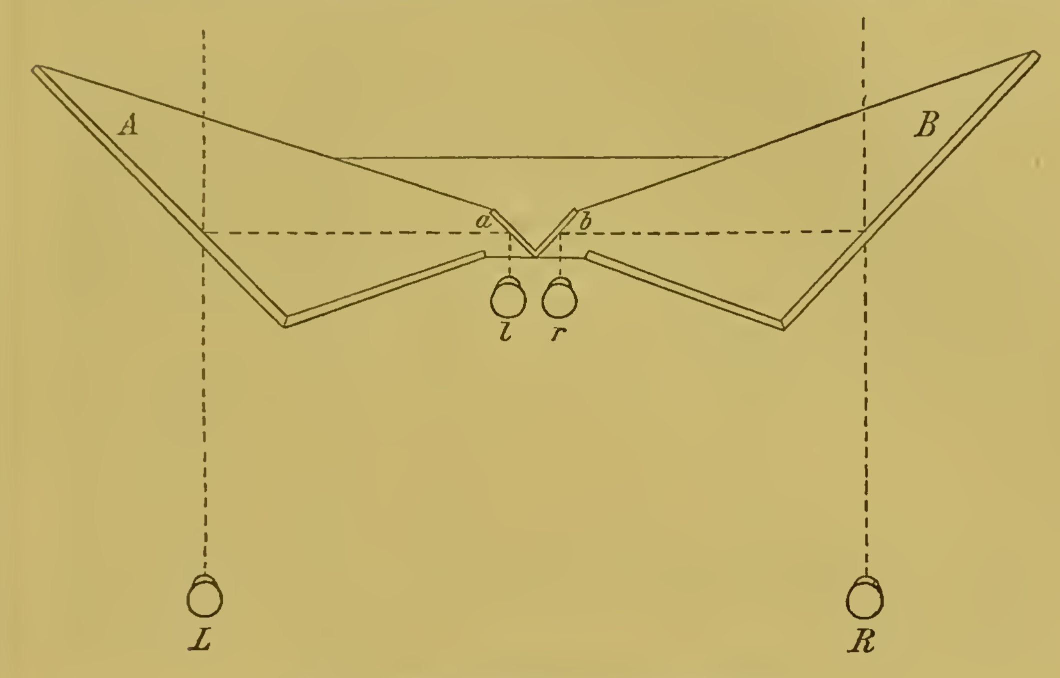


Fig. 324. Telestereoskop nach HELMHOLTZ.

als Messungshilfsmittel Verwendung finden, auf die Überlegenheit der binokularen stereoskopischen über die monokulare Sehschärfe stützt. Kleinste Distanz- und Richtungsunterschiede, die im Netzhautbilde des einzelnen Auges nicht mehr erkennbar sind, können in der Tat mit voller Schärfe noch an den plastischen Effekten wahrgenommen werden, die sie bei stereoskopischer Kombination hervorbringen (S. 656). Dabei bietet aber die stereoskopische Methode zugleich den Vorteil, daß selbst undeutliche Konturen, wie die von Rauch oder Wolken, deren Abstandsverhältnisse der monokularen Messung Schwierigkeiten bereiten, deutliche und quantitativ bestimmbare Tiefeneffekte erzeugen, so daß in dieser Beziehung die stereoskopischen den gewöhnlichen Messungen gegenüber sogar überlegen sind.

Zu manchen messenden Versuchen über binokulares Sehen, bei denen es nicht sowohl auf die Erzeugung bestimmter Tiefenwirkungen als vielmehr auf die

---

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 648, [2] S. 793 f.

[2] Vgl. über einige dieser Instrumente C. PULFRICH, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 12, 1902, S. 65, 133 ff.

Bestimmung der Orientierungsverhältnisse beider Netzhäute zueinander ankommt, eignet sich dagegen besser als das Stereoskop das von HERING konstruierte »Haploskop«, das im wesentlichen ein Stereoskop ohne Prismen und Linsen ist. Es besteht aus zwei zylindrischen Röhren, deren Achsen mit den Blicklinien beider Augen zusammenfallen. In einer dem Fernpunkt des etwas kurzsichtigen oder durch eine Konvexbrille kurzsichtig gemachten Auges entsprechenden Entfernung befindet sich ein vertikaler weißer Schirm, zu dem die beiden in annähernder Parallelstellung befindlichen Blicklinien senkrecht sind. Auf dem Schirm sind ferner zwei Fixationsmarken *f* und *f'* angebracht, von welchen aus beliebig verschiebbare vertikale oder horizontale Linien auf dem Schirm bewegt und sowohl in ihren Distanzen wie Winkelneigungen variiert werden können. Läßt man z. B., wie in Fig. 325, links von *f* aus eine vertikale Linie nach oben, rechts von *f'* aus eine ebensolche nach unten gehen, so müssen, wenn beide Augen die Punkte *f* und *f'* fixieren, den zwei Vertikalen die in der Figur gezeichneten Neigungen gegeben werden, damit die Halbbilder *A* und *B* in dem Sammelbilde *C* ungebrochen als eine einzige in der Medianebene liegende Vertikale erscheinen. Auf diese Weise läßt sich also die oben in Fig. 280, S. 595 dargestellte Abweichung der beiden scheinbar vertikalen Netzhautmeridiane von der wirklichen Vertikalen messen. Auch zu den auf S. 633 erwähnten Beobachtungen über die Fusionsbewegungen der Augen läßt sich diese haploskopische Methode verwenden[1].

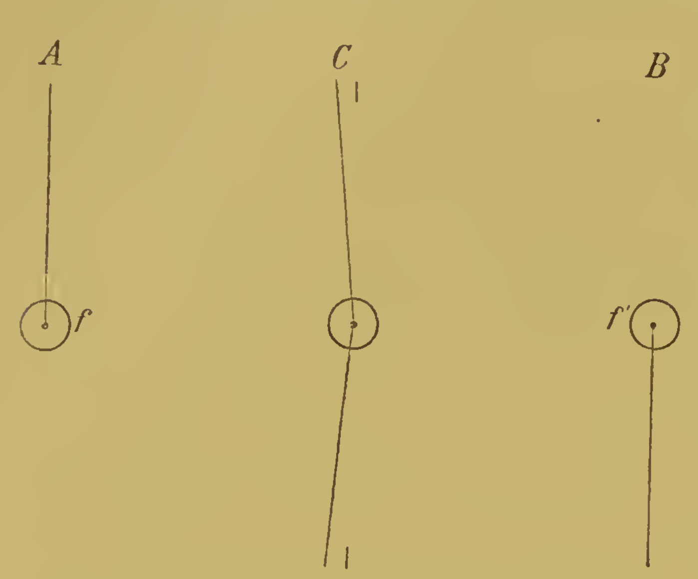


Fig. 325. Haploskopische Methode nach HERING.

So sorgfältig nun auch die stereoskopischen Erscheinungen, soweit sie in das Gebiet des regulären körperlichen Sehens gehören, teils um ihrer theoretischen, teils um ihrer praktischen Bedeutung willen nach allen Seiten erforscht sind, so wenig haben doch die im Obigen behandelten Wirkungen der Vereinigung nicht zusammenstimmender Bilder meist eine zureichende Beachtung gefunden. Schon die Schilderung dieser Erscheinungen, die doch für die Erkenntnis der funktionellen Wechselbeziehungen beider Sehorgane von hohem Interesse sind, ist in der Regel eine ungenügende, und sie wird durch-

[1] HERING, HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, I, S. 355 ff. Einen für andere Zwecke bestimmten, aber im Prinzip dem HERINGschen Haploskop ähnlichen Apparat, ein Stereoskop ohne Linsen und Prismen oder Spiegel, hat C. PULFRICH konstruiert. Er besteht aus zwei Röhren von 1 m Länge, an deren einem Ende sich Schlitze für die beiden Augen, und an deren anderem sich ein Kasten für die Stereoskopbilder befindet. (Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 11, 1901, S. 221.)

weg von dem Vorurteil beherrscht, daß die Mischung der binokularen Eindrücke eigentlich das Normale und Selbstverständliche sei, während man alles was dazu nicht stimmen will, wie den Wettstreit, besonders aber auch die Erscheinungen des binokularen Randkontrastes, dem willkürlichen Spiel der Aufmerksamkeit zuschiebt. Als wenn niemals ein Stereoskop erfunden wäre, hält man bei allen diesen über das Gebiet der normalen Stereoskopie hinausreichenden Phänomenen vielfach noch an dem Dogma der Identität der beiden Netzhäute fest. Und doch zeigt sich bei jedem Schritt auf diesem Gebiet, daß hier so wenig wie bei dem körperlichen Sehen das Bild eine bloße Addition der zwei monokularen Eindrücke ist, sondern daß das Binokularsehen auch in diesem Fall seine Eigenart bewahrt. Wie in den Erscheinungen des stereoskopischen Glanzes und in der Wirkung der Fixationslinien, so tritt diese spezifische Eigenart der Wechselwirkung zusammengehöriger Eindrücke auf beiden Augen übrigens schon in den Phänomenen der einfachen binokularen Lichtmischung deutlich hervor. Läßt man in rascher Intermission auf je zwei korrespondierende Stellen beider Netzhäute Lichtreize in der Weise einwirken, daß abwechselnd je ein Lichtblitz das eine und der nächstfolgende das andere Auge trifft, so wird bei der Grenze, bei der für das einzelne Auge das Flimmern nach dem Talbotschen Gesetze in eine stetige Empfindung übergeht, binokular noch ein starkes Flimmern wahrgenommen, und dieses verschwindet erst völlig, wenn die Geschwindigkeit der Sukzession so weit angewachsen ist, daß das einzelne Auge für sich schon die Grenze des Talbotschen Gesetzes erreicht hat[1].

g. Direkte und assoziative Faktoren der Tiefenvorstellung im binokularen und monokularen Sehen.

Flächen- und Tiefenvorstellung bilden natürlich niemals tatsächlich voneinander zu trennende Bestandteile unserer Gesichtswahrnehmung. Vielmehr ist jede Vorstellung Flächen- und Tiefenvorstellung zugleich: wir sehen die Gegenstände in irgendeiner Fläche angeordnet, und wir verlegen sie außerdem in irgendeine bald bestimmtere, bald auch nur sehr unsichere Tiefenentfernung. Was uns zu einer Sonderung dieser beiden an sich untrennbaren Bestandteile jeder Gesichtswahrnehmung veranlaßt, das ist nun aber auch nicht, wie die Ausdrücke Fläche und Tiefe vermuten lassen könnten, irgendein Unterschied in den Eigenschaften der Gegenstände selbst, sondern lediglich das Verhältnis zu dem sehenden Subjekt: Flächenvorstellung ist das Raumverhältnis, das wir den gesehenen Punkten zueinander, Tiefenvorstellung dasjenige, das wir ihnen zum Sehenden anweisen. Darum bildet jeder gesehene Punkt im Raum ebenso ein Element einer Flächen- wie einer Tiefenvorstellung: er steht, da wir uns den Punkt nie ohne eine Umgebung vorstellen können, in Relation zu andern Punkten, und, da jede Gesichtsempfindung in bezug auf uns

[1] Sherrington, British Journal of Psychol. I, 1904, p. 26.

selbst orientiert ist, in Relation zum sehenden Subjekte. Hier aber sind es wieder die beiden Faktoren der Richtung und der Entfernung, die im binokularen wie monokularen Sehen in jede Tiefenvorstellung eingehen: die Richtung wird binokular durch die Orientierungslinie (Fig. 301, S. 641), monokular durch die Visierlinie bestimmt, die Entfernung binokular durch die Distanz von dem gemeinsamen Orientierungspunkt (*m* Fig. 301), monokular durch die Entfernung von dem Kreuzungspunkt der Visierlinien, dem Mittelpunkt der Pupille (S. 544 f.).

Primäre oder direkte Faktoren einer Tiefenvorstellung können wir nun allgemein diejenigen erzeugenden Bedingungen derselben nennen, die unmittelbar in dem Wahrnehmungsvorgang selbst enthalten sind, so daß sie an sich irgendwelcher vorausgegangener Vorstellungen nicht bedürfen, wenn auch selbstverständlich der Einfluß der Wiederholung gleicher Einwirkungen hier so wenig wie bei andern Vorgängen, bei denen wir der sogenannten »Übung« einen Einfluß zuschreiben, ausgeschlossen ist. Sekundäre oder assoziative Faktoren können wir dann dem gegenüber solche nennen, die an sich nicht der Wahrnehmung selbst angehören, sondern aus früheren Vorstellungen herstammen, wobei übrigens diese nie als irgendwelche konkrete Einzelvorstellungen, sondern immer nur in der Form zahlreicher Vorstellungselemente wirksam werden, die wieder sehr abweichenden Wahrnehmungsinhalten angehören. Wie es keine gesonderten Flächen- und Tiefenvorstellungen gibt, so gibt es nun auch schlechthin keine Gesichtsvorstellungen, in deren Bildung sich nicht primäre und sekundäre Faktoren in dem angegebenen Sinne vereinigen, wenn sich auch bald mehr die einen bald mehr die andern unserer Beachtung aufdrängen. Treffende Belege für dieses Verhältnis liefern hier wieder die früher betrachteten geometrisch-optischen Täuschungen (S. 575 ff.). Bei den umkehrbaren perspektivischen Täuschungen besteht der primäre, direkte Faktor in der Lage des ersten Fixationspunktes und in der Richtung der von diesem ausgehenden Blickbewegung: dieser Faktor bestimmt in vollkommen eindeutiger Weise die Richtung der eintretenden Vorstellung. Diese selbst würde aber nicht entstehen können ohne eine Menge disponibler Vorstellungen von verwandtem Charakter, deren Elemente sich assimilativ mit denen des direkten Eindruckes vereinigen. Anderseits besteht bei den variabeln Strecken- und Richtungstäuschungen das primäre, in diesem Fall die ganze Beschaffenheit der Vorstellung bedingende Moment in bestimmten Motiven der Bewegungsenergie, die gewisse Strecken oder Winkel relativ vergrößert oder verkleinert erscheinen lassen. Auch hier fehlt es aber auch nicht an dem assoziativen Faktor: er macht sich in den perspektivischen Nebenvorstellungen geltend, welche die Täuschung mit dem Netzhautbild in Übereinstimmung bringen. Tritt bei den Täu-

schungen der ersten Art, den umkehrbaren, dieser Faktor so sehr hervor, daß man darüber meist den direkten ganz übersehen und daher diese Vorstellungen lediglich als zufällige Spiele der »Einbildungskraft« interpretiert hat, so verhält es sich mit den variabeln Täuschungen umgekehrt: hier können die assoziativ erweckten perspektivischen Nebenvorstellungen übersehen werden und zuweilen tatsächlich unter der Wirkung entgegengesetzter Motive verschwinden. Da nun aber diese letzteren ebenfalls wieder durchweg assoziativer Art sind, so wird dadurch der allgemeine Satz nicht aufgehoben, daß sich in jeder Tiefenvorstellung des Gesichtssinns direkte und assoziative Faktoren auf das innigste durchdringen.

Nun liegt es weiterhin in der Natur dieser beiden Faktoren begründet, daß die primären im binokularen und im monokularen Sehen von wesentlich abweichender Beschaffenheit sind, und daß hier das erstere insofern dem letzteren übergeordnet ist, als alle Momente, die monokular zur Wirksamkeit gelangen, auch dem Doppelauge zur Verfügung stehen, während dieses noch über alle jene weiteren Momente der Synergie der Bewegungen und der Empfindungen verfügt, die ihm eben als einem zusammengesetzten Organ eigen sind. Anders verhält sich dies mit den sekundären Faktoren: sie können an sich in vollkommen gleicher Weise hier wie dort wirksam werden; und eher bietet in diesem Fall das monokulare Sehen den assoziativen Einflüssen insofern einen weiteren Spielraum, als es mancher der Gegenwirkungen entbehrt, die in der vollkommeneren Funktionsweise der primären Faktoren dem Doppelauge eigentümlich sind. Dem entspricht in der Tat die Erfahrung, daß durchweg die assoziativen Motive der Tiefenvorstellungen durch die Beschränkung auf das monokulare Sehen begünstigt werden.

Dieses ganze Verhältnis bringt es übrigens selbstverständlich mit sich, daß für die Theorie der Bildung der Sinnesvorstellungen die primären Faktoren der Vorstellungsbildung im Vordergrund des Interesses stehen, während die sekundären oder assoziativen bereits in das Gebiet der zusammengesetzten psychischen Prozesse hinüberführen. Bei der ungeheuren, gewöhnlich viel zu sehr unterschätzten Bedeutung, welche diese assoziativen Einflüsse besitzen, erscheint es gleichwohl schon hier unerläßlich, wenigstens auf den relativen Anteil hinzuweisen, den beide Faktoren, die primären wie die sekundären, an der endgültigen Bildung der Vorstellungen nehmen.

Für die binokularen Tiefenvorstellungen ist diese Aufgabe in den obigen Erörterungen bereits erledigt, indem sich hier zwei primäre Faktoren der Tiefenvorstellungen unbestreitbar ergaben: als sukzessiver die Konvergenzbewegung, die in jedem Moment durch die an sie gebundenen Empfindungen in Verbindung mit den eintretenden Bildbe-

wegungen die Richtung und die Größe der binokularen Orientierungslinie und damit also die beiden in die Tiefenvorstellung als solche eingehenden Elemente bestimmt. Dazu kommt als simultaner Faktor die binokulare Parallaxe, d. h. jene den zusammengehörigen Deckpunkten im Sehfeld entsprechende Winkelverschiebung, die durch die wechselnden Tiefendistanzen der Punkte gegeben, und die im simultanen Bilde der sukzessiv eintretenden Änderung des Konvergenzwinkels äquivalent ist (S. 637). Diesen primären Faktoren des binokularen steht nun im monokularen Sehen zunächst als sukzessiver die Akkommodation gegenüber. Um so vieles die Akkommodation ein unvollkommener funktionierender Bewegungsapparat als die Konvergenz ist, um so weit steht das monokulare hinter dem binokularen Sehen in der Wirksamkeit primärer Faktoren der Tiefenvorstellung zurück. Daß gleichwohl die Meinung, die Akkommodation selbst sei nur ein der Konvergenz beigeordnetes Hilfsmittel des binokularen Sehens, nicht zutrifft, hat uns die Beobachtung gelehrt (S. 634 ff.). Binokular und monokular verhalten sich nicht wie Beherrschung aller Hilfsmittel der Tiefe und völliger Mangel derselben, sondern, soweit es sich um die sukzessiven Faktoren handelt, wie das Ganze zum Teil, allerdings zum kleineren Teil. Der fein abgestuften Konvergenzbewegung steht hier die nur in beschränkterem Umfang, in langsamerem Tempo wirksame und mit einer viel geringeren Unterschiedsempfindlichkeit versehene Akkommodationsbewegung gegenüber. Immerhin nimmt dadurch schon das einzelne Auge in gewissem Grade an der in vollkommenerer Form dem Doppelauge zustehenden Funktion der Tiefenwahrnehmung teil, was besonders für diejenigen Tiere, die des gemeinsamen Gesichtsfeldes entbehren, sowie für diejenigen mit gemeinsamem Gesichtsfeld hinsichtlich der nicht gemeinsamen Gebiete des Sehraums von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

Es erhebt sich aber weiterhin die Frage, ob nicht, analog wie der binokularen Konvergenz monokular der Akkommodationsmechanismus als sukzessiver, so auch der binokularen Parallaxe im monokularen Sehen ein analoger, simultaner Faktor der Tiefenvorstellung gegenüberstehe. Diese Frage ist natürlich zunächst an die andere gebunden, ob es überhaupt eine simultane monokulare Tiefenwahrnehmung gibt, die als primäre angesprochen werden kann. Erscheinungen, die eine solche direkt beweisen, sind uns in der Tat oben in den Phänomenen der monokularen Spiegelung mit ihrem Übergang in Glanz entgegengetreten. Bei Versuchen, wie sie die Fig. 315 veranschaulicht, hat man den unmittelbaren und simultanen, nicht etwa erst durch sukzessive Akkommodation vermittelten Eindruck hintereinander, in verschiedener Tiefendistanz gelegener Objekte. Nun wurde schon hervorgehoben, daß

diese Beziehung auf ungleiche Entfernungen mit den Bedingungen der Akkommodation zusammenhängen müsse, indem eben nur die die Einstellung des Auges auf ein Objekt begleitende Wahrnehmung von Punkten, die in Zerstreuungskreisen gesehen werden, eine solche Beziehung der in gleichen Richtungen dem Auge zukommenden Eindrücke auf Objekte verschiedener Entfernung ermöglicht (S. 676). Hierbei kommt demnach die oben (S. 544) bemerkte Tatsache zur Geltung, daß Punkte, die in einer und derselben Visierlinie in verschiedener Tiefendistanz vom Auge liegen, trotzdem gleichzeitig gesehen werden können, weil, wenn das Auge auf einen bestimmten Punkt akkommodiert ist, ein näherer oder fernerer das deutliche Bild jenes Punktes als Zerstreuungskreis umgibt, — eine Tatsache, auf der ja die Möglichkeit zu visieren und demnach die Projektion der Objekte in der Richtung der Visierlinien beruht. Spiegelung und Glanz sind also Erscheinungen, die nur dadurch möglich sind, daß diese Unterscheidung von Punkten, die in verschiedener Tiefe auf den gleichen Visierlinien liegen, tatsächlich stattfindet und mit dem Effekt einer, wenn auch unbestimmteren, wirklichen Tiefenlokalisation der Punkte verbunden ist. A. KIRSCHMANN hat darauf hingewiesen, daß diese monokulare Tiefenlokalisation vermöge der Eigenschaften der Zerstreuungskreise voraussichtlich im indirekten Sehen vollkommener stattfinden wird als im direkten, indem sie um so mehr, je weiter die Eindrücke vom Netzhautzentrum abrücken, durch die eintretende Asymmetrie der Zerstreuungskreise unterstützt wird[1]. Befindet sich nämlich in der Hauptvisierlinie eine Reihe von Punkten in verschiedener Tiefenentfernung, auf deren einen das Auge akkommodiert ist, so fallen die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise der andern mit dem scharf gesehenen Punkte zusammen, und es nimmt nur mit wachsender Tiefenentfernung von diesem Punkt der Durchmesser der Zerstreuungskreise zu, ohne daß sonst ein Kriterium dafür gegeben wäre, ob diese von einem näheren oder von einem entfernteren Punkt als dem Akkommodationspunkt herrühren. Dies wird jedoch anders, wenn die Punkte in das seitliche Sehfeld rücken (Fig. 326). Da jeder Zerstreuungskreis eine Projektion der Pupille pp' auf die Netzhaut ist, so wird jetzt, wenn das Auge auf a akkommodiert ist, der von dem näheren Punkt b herrührende Kreis nach innen und der von dem ferneren Punkt c herrührende, dessen Bild vor die Netzhaut fällt, nach außen vom akkommodierten Punkte in den äußeren Raum verlegt. Eine Visierlinie, welche gleichzeitig die Punkte a, b und c in ihren Netzhautbildern zur Deckung bringt, gibt es daher jetzt nicht mehr, sondern, um sukzessiv zuerst die Punkte a und b und dann die

[1] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 9, 1894, S. 447 ff.

Punkte *b* und *c* so zur Deckung zu bringen, daß deutlich gesehener Punkt und Mittelpunkt des Zerstreuungskreises sich decken, muß das Auge eine Bewegung ausführen, die der Winkeldistanz der beiden Zerstreuungskreise auf der Netzhaut entspricht. Diesen Winkel kann man, da er nur im indirekten Sehen zur Geltung kommt, die Parallaxe der Visierlinien im indirekten Sehen nennen. Da er zu der Akkommodation in einer analogen Beziehung steht wie die binokulare Parallaxe zur Konvergenz, und außerdem ein anderes bei den Erscheinungen der Spiegelung und des Glanzes wirksames Moment nicht aufzufinden ist, so ist nun wahrscheinlich diese Parallaxe der Akkommodation als ein primärer Faktor bei den genannten Formen der monokularen Tiefenwahrnehmung anzusehen. Allerdings beträgt der parallaktische Winkel in diesem Fall nach den approximativen Berechnungen von HELMHOLTZ bei einer seitlichen Lage von 20° nur etwa 90 Sek., bei einer solchen von 45° 135 Sek.[1]; und diese Werte sind in Anbetracht der geringen Sehschärfe im indirekten Sehen sehr klein, da sie durchweg unter den nach den gewöhnlichen Methoden bestimmten Schwellenwerten liegen. Gleichwohl ist dadurch nicht ausgeschlossen, daß ein solches Nebeneinander deutlich gesehener und gegeneinander verschobener Zerstreuungskreise, namentlich wenn es sich über einen größeren Teil des Sehfeldes ausbreitet, bestimmte Wirkungen ausübt, die zwar keine deutlichen Raumvorstellungen, wohl aber jene eigentümlichen Modifikationen des Eindrucks und jene unbestimmteren Entfernungsvorstel-

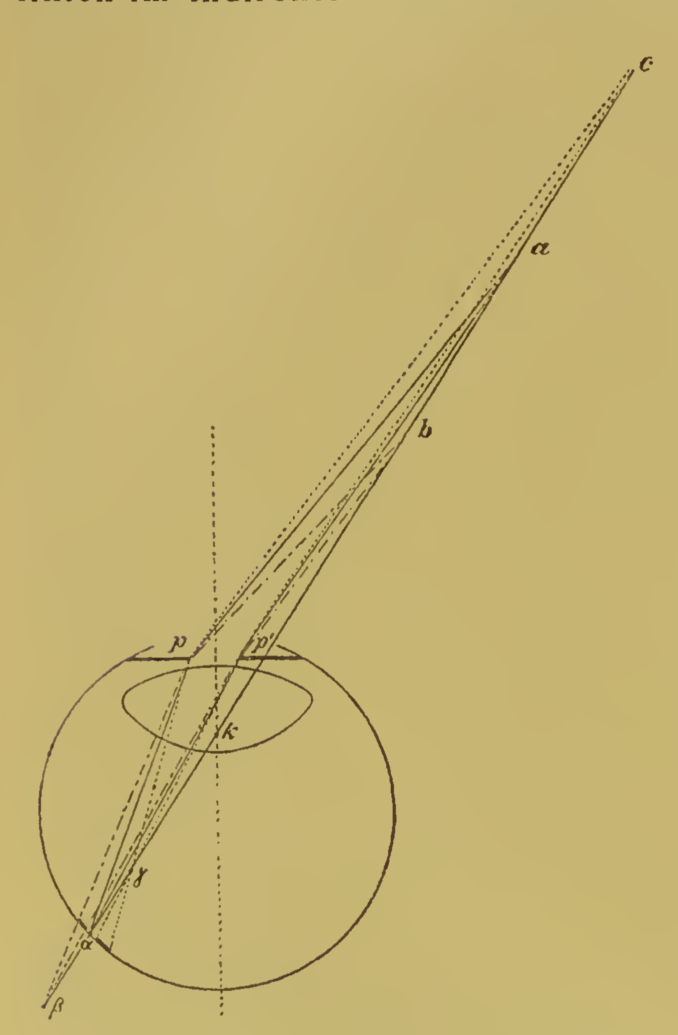


Fig. 326. Zerstreuungskreise im indirekten Sehen.

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 586, [2] S. 730.

lungen hervorbringen können, wie sie eben bei den Erscheinungen des Glanzes und der Spiegelung tatsächlich bestehen. Dies bestätigt sich auch darin, daß die Eindrücke von Spiegelung und Glanz um so stärker sind, je mehr die Regionen des *indirekten* Sehens bei der Entstehung des Bildes mitwirken, wo nun die oben durch Fig. 324 veranschaulichten Bedingungen zur Geltung kommen können. Beide verschwinden dagegen ganz, wenn man durch die Verdeckung der seitlichen Teile des Objekts das Sehfeld auf die nächste Umgebung des fixierten Punktes einschränkt. Zudem hat man bei diesen Erscheinungen, mögen sie nun monokular oder binokular zustande kommen, unmittelbar den Eindruck von Akkommodationsphänomenen; und die oft außer allem Verhältnis zur Intensität des Reizes stehende *blendende* Wirkung, die der Glanz ausübt, scheint von den gehäuften Zerstreuungskreisen herzurühren, die zu vergeblichen Akkommodationsanstrengungen anregen. Hierbei kommt besonders zur Geltung, daß, wie früher (S. 634) bemerkt, jeder Zerstreuungskreis ein Reiz für den Akkommodationsapparat ist, der erst durch die Einstellung des Auges auf den undeutlich gesehenen Punkt verschwindet. Im vorliegenden Fall bleibt nun diese reflektorische Reaktion in ihrem Gesamteffekt wirkungslos, weil für die diffusen Eindrücke, die dadurch etwa in deutliche umgewandelt werden, zahlreiche andere die entgegengesetzte Wandlung erfahren müssen.

So weit aber auch in der Ausbildung der *primären* Faktoren der Tiefenvorstellungen das binokulare dem monokularen Sehen überlegen ist, so völlig übereinstimmend, ja, gerade wegen des relativen Zurücktretens primärer Motive, in gewissem Betracht überlegen ist das monokulare dem binokularen in der Wirksamkeit der *sekundären, assoziativen* Faktoren. Dies zeigt sich namentlich bei denjenigen Erscheinungen, die unsere Auffassung verschiedener Tiefenentfernungen in Zeichnungen und Gemälden, sowie in den Objekten der Natur, denen jene nachgebildet sind, bestimmen, insoweit nicht bei den Naturobjekten zugleich primäre Faktoren beteiligt sind. Man pflegt alle diese überwiegend sekundären Momente, auf die sich Zeichnung und Gemälde ausschließlich angewiesen sehen, unter dem Namen der *zeichnerischen* und der *malerischen Perspektive* zusammenzufassen, wobei die letztere wieder insofern der umfassendere Begriff ist, als das Gemälde alle Hilfsmittel verwendet, deren sich auch die Zeichnung bedient, außerdem aber weitere hinzubringt, die an die Färbung als solche gebunden sind. Die sämtlichen Momente der Perspektive lassen sich nun in *drei*, untereinander wieder durch mannigfache assoziative Beziehungen verbundene Gruppen ordnen: 1) in den Verlauf der die Auffassung der Gegenstände bestimmenden Fixationslinien, 2) in die Wirkung der Größe des Netzhautbildes (des Ge-

sichtswinkels), und endlich 3) in die an die Schärfe der Konturen, die Helligkeits- und Farbenunterschiede gebundenen Motive der sogenannten »Luftperspektive«. Für alle diese Bestandteile der Perspektive ist, im Unterschied von dem stereoskopischen Sehen, das auf dem Zusammenwirken zweier Augenpunkte beruht, die Beziehung auf einen einzigen Augenpunkt charakteristisch, mag dieser, wie im rein monokularen Sehen, der Blickpunkt oder, wie im binokularen, der gemeinsame Orientierungspunkt sein (Fig. 301, S. 641). Im ersten Fall ist es dann die Blicklinie, im zweiten die binokulare Orientierungslinie, welche die Beziehungen der gesehenen Punkte zum Sehenden bestimmt.

Als das erste und hauptsächlichste dieser Momente der Perspektive besitzt vor allem der Verlauf der Fixierlinien, die die Gegenstände begrenzen und die einzelnen miteinander verbinden, und die in den Konturen einer Zeichnung oder eines Gemäldes vorgezeichnet sind, einen entscheidenden Einfluß. Dieser Verlauf der Fixierlinien wird wieder zunächst und in allgemeingültiger Weise bei der umfassenderen Betrachtung der Umgebung des Sehenden durch jene normale Gestalt des Sehfeldes bestimmt (Fig. 308, S. 659), die sich auf Grund der Beziehungen der Eindrücke zu den Blickbewegungen des einzelnen wie des Doppelauges ausgebildet hat. Die Entfernung, die der Sehende irgendeinem Objekt von seinem eigenen Augenpunkte anweist, bemißt sich daher nach dem scheinbaren Ansteigen der ebenen Bodenfläche, das für beliebige unregelmäßigere Anordnungen der Objekte im Sehraum immer die Grundlage abgibt. Bei nach aufwärts gewandtem Blick tritt dann ebenso der scheinbare Abfall der Fixierpunkte gegen den Horizont als bestimmendes Element dafür ein. Wo uns die Fußpunkte der Objekte verdeckt bleiben, wird daher die Vorstellung über ihre relative und noch mehr über ihre absolute Entfernung sehr unbestimmt. So erscheinen uns Bergreihen, die sich hintereinander auftürmen, wie in einer Fläche liegend. In dem Maße aber, als das Auge auf der Bodenebene *ac* (Fig. 308) die Distanzen zwischen den Standorten der einzelnen Objekte mit der Blicklinie durchlaufen kann, treten die Tiefenunterschiede derselben deutlich hervor. Überzeugende Belege für diesen Einfluß der Blickbewegungen bilden auch hier wieder jene »umkehrbaren perspektivischen Täuschungen« (S. 576), die von den gewöhnlichen perspektivischen Objekten lediglich dadurch abweichen, daß bei ihnen eine mehrdeutige Beziehung bestimmter Ausgangspunkte der Bewegung, z. B. bald die auf die zum Horizont ansteigende Bodenebene, bald auch die auf eine zu ihm abfallende Deckenebene, bestimmend ist. Ein charakteristisches Beispiel hierfür und zugleich ein deutlicher Beleg für die überwiegende Neigung der Orientierung nach den Fixierlinien auf der Bodenebene oder in zu ihr parallelen Richtungen

ist eine der bekanntesten Inversionstäuschungen, die SCHROEDERsche Treppe (Fig. 327). Bei unbefangener Betrachtung sieht man diese Figur in der Regel als Treppe, indem die Fläche *a* vor die Fläche *b* verlegt wird. Die Figur kann aber auch als ein überhängendes Mauerstück von umgekehrter Treppenform gesehen werden, wo nun *a* hinter *b* zu liegen scheint[1]. Dieses Schwanken ist dadurch verursacht, daß wir eine Grenzlinie wie $\alpha\beta$ bald auf das scheinbare Ansteigen der Bodenebene, bald auf den scheinbaren Abfall der Deckenebene beziehen können, und der Wechsel dieser beiden Vorstellungen wird wieder, wie bei allen umkehrbaren Täuschungen, vollkommen eindeutig durch die Richtung der Blickbewegung bestimmt. Bewegt man nämlich den Blick von α nach β, also in aufsteigender Richtung, so sieht man die Ecke α erhaben, umgekehrt bei der Bewegung von β nach α vertieft: dort entsteht also die Vorstellung der Treppe, hier die des Mauerstücks. Ebenso ist man geneigt α erhaben zu sehen, wenn die Zeichnung dem Auge genähert, vertieft wenn sie von demselben entfernt wird, weil man dabei jedesmal ähnliche Bewegungen wie vorhin ausführt. Wie in diesem Fall, gemäß den für die umkehrbaren Täuschungen überhaupt bestehenden Bedingungen (S. 578), an und für sich schon Assoziationen mit geläufigen Vorstellungen eine mitwirkende Rolle spielen, so kann nun aber durch weiter hinzutretende assoziative Elemente die Richtung der Perspektive noch näher determiniert werden. Dies geschieht z. B., wenn man eine menschliche Figur zeichnet, welche die Treppe hinaufsteigt, oder wenn man, um die Vorstellung des überhängenden Mauerstücks zu begünstigen, den unteren Teil der Treppe hinwegläßt und oben die Figur mit der punktiert angedeuteten Linie bei δ abschließt. Das nämliche kann durch die verschiedene Verteilung von Licht und Schatten bewirkt werden, wenn man also entweder die Fläche *b* auf den einzelnen Treppenstufen oder diese auf der Fläche *a* ihren Schatten werfen läßt. So ist überhaupt der Schlagschatten der Gegenstände, als ein in relativ konstanter Weise wiederkehrender Bestandteil der Perspektive, ein wichtiges Motiv für die Auffassung der Lage und Form. Er wirkt aber dadurch, daß die Konturen des Schattens wiederum Fixierlinien abgeben, auf denen sich der

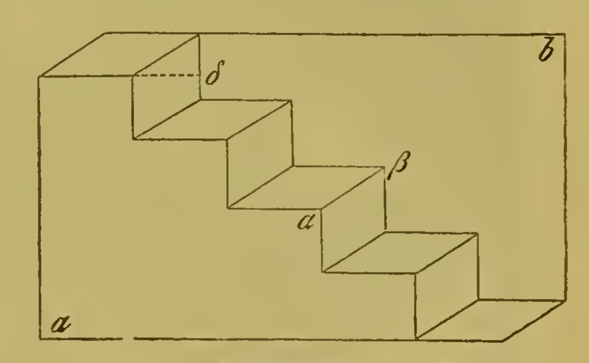


Fig. 327. SCHROEDERsche Treppe.

[1] H. SCHROEDER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 105, 1858, S. 298.

Blick bewegt. In der Morgen- und Abendbeleuchtung, in der die Schatten der Bäume und Häuser länger sind, scheinen uns daher die Entfernungen größer als in der Mittagssonne. Ob Gegenstände erhaben oder vertieft sind, unterscheiden wir an den Schatten, die ihre Ränder werfen. Eine Hohlform zeigt den Schatten an der dem Licht zugekehrten, eine erhabene an der demselben abgekehrten Seite. Betrachtet man daher z. B. eine erhabene Medaille, von der das Fensterlicht durch einen Schirm abgehalten ist, während sie von der entgegengesetzten Seite her durch einen Spiegel beleuchtet wird, so erscheint das Relief verkehrt[1]. Nicht bloß der Schatten an sich, sondern auch die Verhältnisse der Umgebung, wie die Richtung, in der das Licht einfällt, bestimmen also in diesen Fällen

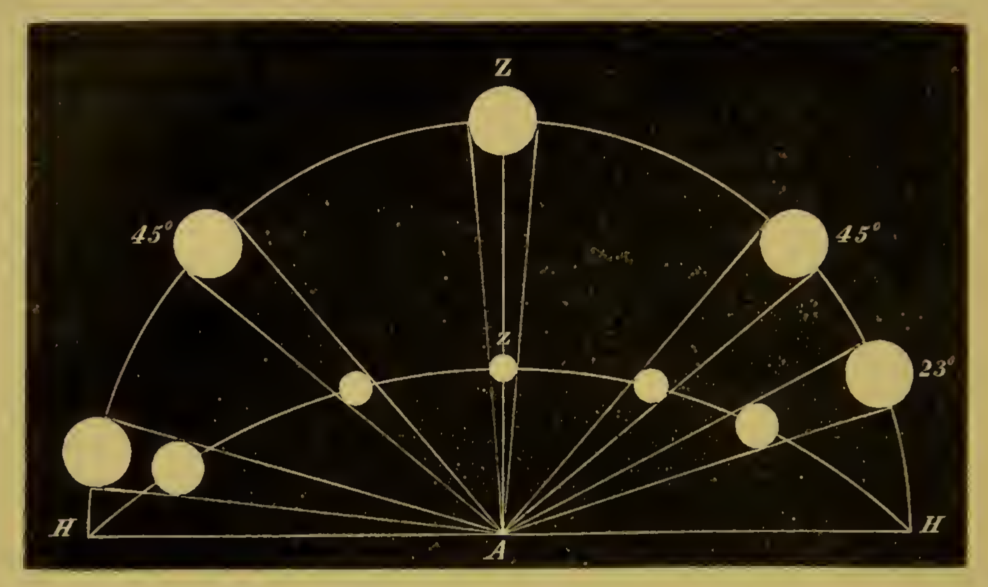


Fig. 328. Das scheinbare Himmelsgewölbe.

als assoziative Elemente unsere Vorstellung. Dabei vollziehen sich auch hier wieder diese Assoziationen ohne jede Spur von Reflexion: sie gehen unmittelbar, als fertige Produkte des Zusammenwirkens von Blickbewegung und Assoziationsmechanismus, in die entstehende Tiefenvorstellung ein.

Ein zweites wichtiges Moment der Perspektive ist sodann der Gesichtswinkel oder die Bildgröße der Objekte (S. 545). Bei Gegenständen, die uns aus häufigem Sehen in der Nähe geläufig sind, richtet sich, wenn sie sich in größerer Ferne befinden, die Vorstellung der Entfernung in erster Linie nach dem Gesichtswinkel. Unbekannte Gegenstände stellen wir uns dann in bezug auf ihre Distanzverhältnisse nach den in gleicher Entfernung befindlichen, in ihrer gewöhnlichen Größe geläufigen vor, wie

[1] Oppel, Poggendorffs Annalen, Bd. 99, 1856, S. 466.

Menschen, Bäume, Häuser. Wo wir dagegen Objekte, die wir unter gleichem Gesichtswinkel sehen, vermöge anderer Assoziationsbedingungen in verschiedene Entfernungen verlegen, da erscheint uns nun der fernere Gegenstand größer, da er ja, wenn er sich in größerer Entfernung befände, größer sein müßte, um unter gleichem Gesichtswinkel gesehen zu werden. Auch hier haben wir eine parallele Erscheinung bei den geometrisch-optischen Täuschungen bereits kennen gelernt, wo sich die variabeln Strecken- und Winkeltäuschungen durchaus mit den entsprechenden Entfernungsvorstellungen verbanden (S. 581 ff.). In der Regel leitet man aus dieser Wechselwirkung zwischen Größen- und Entfernungsvorstellung auch die bekannte Erscheinung ab, daß wir Sonne und Mond am Horizont größer als im Zenith sehen. Der Horizont scheint uns nämlich ferner als der Zenith zu sein, wegen der in Fig. 308 (S. 659) dargestellten Form des Sehfeldes, wozu als mitwirkendes Moment noch hinzukommen mag, daß wegen der zwischenliegenden Objekte die eingeteilte Distanz ac größer erscheint als die nicht eingeteilte (vergl. S. 582). Bedeutet also A in Fig. 328 den Standpunkt des Beobachters, HZH den Halbkreis der Sonnen- oder Mondbahn, HzH dagegen einen in der Richtung jener Bahn gelegten Durchschnitt durch die scheinbare Gestalt des Himmelsgewölbes, so ist die Größe des Gesichtswinkels bei den verschiedenen Stellungen des Gestirns konstant; aber indem das gleiche Netzhautbild jedesmal in andre Entfernungen verlegt wird, muß die scheinbare Größe die durch die unteren Kreise angegebenen Veränderungen erfahren[1]. Nebenbei können dann außerdem noch die unten zu erwähnenden Momente der Luftperspektive einen mitwirkenden Einfluß ausüben, wofür der Umstand spricht, daß der gewöhnliche Eindruck erheblich gesteigert wird, wenn die Konturen der Gestirne am Horizont durch die die Atmosphäre erfüllenden Nebelbläschen undeutlicher sind. Demnach ist wohl überhaupt diese viel erörterte Erscheinung das Produkt mehrerer zusammenwirkender Ursachen, und sie ist daher auch mit diesen einigermaßen in ihrer Größe veränderlich. Den entscheidenden und relativ konstantesten Einfluß übt auch hier die Blickbewegung aus. Den Beweis hierfür liefert die Tatsache, daß sich die Erscheinung beträchtlich vermindert oder ganz verschwindet, wenn man die Gestirne am Horizont bei stark seitwärts ge-

[1] Nach R. SMITH (Lehrbegriff der Optik, übers. von KAESTNER. 1755, S. 56), der diese Erklärung zuerst gegeben hat, sollen Sterne von etwa 25° Distanz vom Horizont in der Mitte zwischen Horizont und Zenith zu liegen scheinen. Danach ist die Konstruktion in Fig. 326 ausgeführt. Die Erscheinung ändert sich aber, wie W. ZEHENDER mit Recht bemerkt hat, nicht unbeträchtlich mit dem Grad der Bewölkung, indem das Himmelsgewölbe bei tief liegenden Wolken wesentlich flacher erscheint als bei bewölktem Himmel (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 20, 1899, S. 353 ff.). Die Behauptung dieses Beobachters, daß der unbewölkte Himmel überhaupt keine Gestalt habe, kann ich freilich nicht bestätigt finden.

neigter oder zwischen den Beinen hindurch bei umgekehrter Kopfhaltung betrachtet, und daß hingegen der hochstehende Mond in der Rückenlage gesehen größer erscheint als gewöhnlich. Ebenso wird aber der im Zenith stehende Mond, wenn man sein Bild durch einen Spiegel in die horizontale Sehrichtung bringt, größer, und umgekehrt der am Horizont stehende kleiner gesehen, wenn man ihn auf die gleiche Weise in die vertikale Blickrichtung bringt[1]. Bei diesem Einfluß der Blickbewegung vereinigen sich wieder höchst wahrscheinlich zwei Momente: ein direktes, indem, wie wir oben (S. 596) sahen, die Aufwärtsbewegung des Auges eine größere Energie fordert als die Abwärtsbewegung, und daher mit einer Überschätzung der in dieser Richtung durchlaufenen Distanzen verbunden ist. Dazu kommt als sekundäres, assoziatives, daß in der weitaus überwiegenden Zahl der Fälle Distanzen, die sich nach der Tiefe des Raumes erstrecken, von unten nach oben, im Sinne der Richtung der ansteigenden Bodenebene *a c* in Fig. 308, durchlaufen werden. Sehr deutlich kann man diesen Einfluß der Blickrichtung bei den umkehrbaren Täuschungen an einer und derselben Linie beobachten. Wenn man z. B. die Fig. 327 in etwas größerem Maßstabe ausführt, so erhält man jedesmal, wenn die Treppenfigur hervortritt, d. h. wenn die Blickbewegung von α nach β gerichtet ist, den Eindruck einer größeren Tiefe, als wenn bei der von β nach α gerichteten Blickbewegung das Relief sich umkehrt. Übrigens zeigt es sich, daß auch bei den Gestirnen der Einfluß der Entfernungs- auf die Größenvorstellung unabhängig von irgendwelchen Blickbewegungen stattfinden kann, wenn man den Mond durch eine Röhre oder selbst durch ein schwach vergrößerndes Fernrohr betrachtet. Da man hier den Mond beim Mangel aller sonstigen Fixationsmotive fast unmittelbar hinter der Röhre zu sehen glaubt, so erscheint er sehr beträchtlich verkleinert, wie man ihn in der freien Natur niemals sieht.

Wesentlich andere Bedingungen treten dagegen bei der Auffassung solcher Objekte ein, die uns aus häufiger Wahrnehmung in unmittelbarer Nähe geläufig sind. Auch hier übt zwar der Gesichtswinkel immer noch einen gewissen Einfluß aus. Aber dieser wird nun nahezu vollständig durch jene assoziativen Wirkungen kompensiert, die von geläufigen Vorstellungen ausgehen, und die eventuell noch durch die durch Akkommodations- und Konvergenzeinstellungen erzeugten bestimmteren Entfernungsvorstellungen unterstützt werden. Von zwei Gegenständen erscheint uns daher in diesem Fall der fernere dem näheren nicht dann an Größe

[1] Filehne, Pflügers Archiv, Bd. 59, 1895, S. 291. Zoth, ebend. Bd. 78, 1900, S. 363. Bd. 88, 1902, S. 201.

gleich, wenn ihre Netzhautbilder gleich sind, sondern dann, wenn die Gegenstände selbst nahezu gleich groß sind. Der Einfluß des Netzhautbildes wird in der Regel nur noch in Gestalt eines Schätzungsfehlers wirksam, der für jeden Entfernungsunterschied annähernd konstant ist und sich als eine kleine Abweichung der Vorstellung von der wirklichen Größe im Sinne des Netzhautbildes geltend macht[1]. Bei etwas entfernteren Gegenständen, bei denen Akkommodation und Konvergenz keine bestimmten Entfernungsvorstellungen mehr vermitteln können, pflegen bei bekannten Objekten oder bei solchen, die bekannteren Dingen irgendwie analog sind, Assoziationen mit diesen zunächst für die Größen- und dadurch indirekt auch für die Entfernungsvorstellung maßgebend zu werden. So sehen wir einen Menschen auf einem Turm nicht in dem Grade kleiner im Vergleich mit einem in unserer Nähe befindlichen, als es dem sehr viel kleineren Gesichtswinkel entsprechen würde. Das Zifferblatt einer Turmuhr stellen wir uns etwa in der Größe des Zifferblatts einer nahen Zimmeruhr, den Turmknopf wie den Knopf einer Fahnenstange vor; entfernten Berghöhen geben wir die Höhe benachbarter Hügel. Solche durch Assoziationen vermittelte Größenvorstellungen bewirken dann aber immer zugleich, daß wir uns auch die Gegenstände näher vorstellen, als sie eigentlich sind[2].

Bei den fernsten Objekten, den Gebirgen und Wolken, die den Horizont umsäumen, können nun freilich die Elemente der gewöhnlichen Perspektive nicht mehr wirksam werden: sie erscheinen alle wie auf einer einzigen Ebene ausgebreitet. Hier tritt dann die sogenannte Luftperspektive wenigstens bei größeren Distanzunterschieden ergänzend ein. Durch die Erfüllung der Luft, namentlich ihrer niedrigeren Schichten, mit Nebelbläschen werden die Gegenstände mit wachsender Entfernung un-

[1] Götz Martius (Philos. Stud. Bd. 5, 1889, S. 601 ff.) wies diesen relativ geringen Einfluß des Gesichtswinkels auf die Größenvorstellung näherer Objekte nach, indem er prismatische Holzstäbe von gleicher Form, aber abweichender Größe und Entfernung vom Beobachter in bezug auf ihre scheinbare Größe vergleichen ließ. Der eine der in einem Versuch zu vergleichenden Stäbe diente als Normalmaß: er befand sich stets in 50 cm Entfernung; der andere, der in einer Versuchsreihe 2,5, in einer anderen 5,25 m entfernt war, diente als Vergleichsgröße: er konnte in Stufen von 0,5 cm verändert werden. Es fanden sich so bei den zwei genannten Entfernungen zu den 3 Normalgrößen 20, 50 und 100 cm die folgenden Vergleichsgrößen bei zwei Beobachtern (M. M. und G. M.):

	I. 5,25 m			II. 2,50 m		
	20	50	100	20	50	100
M. M.	21,67	57,62	106,62	20,62	53,87	107,75
G. M.	21,92	59	110	21,62	56,62	109,25

[2] Wundt, Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele[4], I S. 270 ff. [4] S. 190 ff.

deutlicher; zugleich nehmen sie bei geringer Lichtstärke eine blaue, bei größerer eine rote Färbung an. Die Berge am Horizont erscheinen also bläulich, die unter- oder aufgehende Sonne und die von ihr beleuchteten Berggipfel purpurrot gefärbt[1]. Wie die gewöhnliche Perspektive infolge des Einflusses der Schlagschatten mit der Tageszeit, so wechselt jedoch die Luftperspektive außerordentlich mit der Witterung. Wenn die Luft klar oder trocken oder, statt mit Wassernebeln, mit Wasserdämpfen erfüllt ist, so erscheint uns der Horizont bedeutend genähert. Umgekehrt rücken bei dichtem Nebel nähere Gegenstände scheinbar in größere Ferne, und sie erscheinen uns dann, da doch ihr Gesichtswinkel unverändert geblieben ist, zugleich vergrößert. Bäume, Menschen sehen wir z. B. durch eine Nebelschicht zu riesigen Dimensionen angewachsen. Die ausschließliche Wirkung assoziativer Elemente bei diesen Wechselbeziehungen der Größen- und Entfernungsvorstellungen ist augenfällig. Auch wird sie in diesem Fall dadurch bezeugt, daß bei Kindern in einem früheren Lebensalter gerade die Einflüsse der Luftperspektive wie auch die des Gesichtswinkels, sofern nicht Fixierlinien hinzukommen, noch sehr zurücktreten; daher sie häufig Entfernungen unterschätzen, und ihnen infolgedessen ferne Gegenstände sehr klein erscheinen, ein Mensch z. B. als Zwerg, ein ferner See als eine Regenpfütze u. dergl. Gleichwohl ist es auch in diesem Fall durchaus unzutreffend, von Erfahrung im gewöhnlichen Sinne des Wortes oder von intellektuellen Überlegungen, Vergleichungen u. dergl. zu reden. Vielmehr bilden sich die Assoziationen ohne jede Reflexion infolge der wiederholten Einwirkung bestimmter Sinneseindrücke mit derselben Notwendigkeit und mechanischen Sicherheit wie die einfachsten räumlichen Wahrnehmungen, und die Produkte dieser Assoziationen stehen mit derselben unmittelbaren Anschaulichkeit vor uns, wie irgendwelche direkte Sinnesempfindungen und ihre Verbindungen.

Indem in den neueren Untersuchungen über die Entstehung der Tiefenvorstellungen die an die Erfindung des Stereoskops sich anschließenden Arbeiten über die Bedeutung des binokularen Sehens in den Vordergrund des Interesses rückten, hat man den entsprechenden Faktoren des monokularen Sehens wohl allzuwenig Beachtung geschenkt, um so mehr da unter den gewöhnlichen Verhältnissen der Einfluß dieser Faktoren in der Tat gänzlich verschwinden kann. So ist es gekommen, daß man durchweg primäre Faktoren der Tiefenvorstellung für das monokulare Sehen überhaupt leugnet oder höchstens in der Akkommodation einen solchen für die Vergleichung sukzessiver Eindrücke annimmt. Ich glaube jedoch, daß die Erscheinungen der Spiegelung und des Glanzes, die nach ihrer ganzen Erscheinungsweise den Charakter direkter, nicht erst durch irgendwelche assoziative Einflüsse

[1] Brücke, Poggendorffs Annalen, Bd. 88, 1852, S. 363.

vermittelter Wahrnehmungen an sich tragen, zwingend auf primäre, und zwar simultane Faktoren auch des monokularen Sehens hinweisen. Zugleich dürften aber in diesen Erscheinungen schon nach den ihnen unmittelbar eigenen Merkmalen deutliche Akkommodationswirkungen zu erkennen sein. Ob es dabei, wie oben zunächst angenommen wurde, die Akkommodation allein ist, oder ob, wie KIRSCHMANN vermutet, außerdem Motive der Blickbewegung eine mitwirkende Rolle spielen, mag hier zunächst dahingestellt bleiben[1]. Sicher aber sind die Erscheinungen der Spiegelung und des Glanzes Folgen des Zusammenwirkens von deutlich und von in Zerstreuungskreisen gesehenen Punkten. Wenn HELMHOLTZ die hier in Anspruch zu nehmende Parallaxe des indirekten Sehens als eine wegen der geringen Sehschärfe der Seitenteile zu vernachlässigende Größe betrachtete, so ist zu erwägen, daß es sich dabei für ihn um die Frage der Deutlichkeit der Bilder überhaupt, nicht um eine Erklärung der Erscheinungen von Spiegelung und Glanz handelte. KIRSCHMANN hat als ein möglicherweise bezeichnendes Moment für die Bedeutung der Parallaxe des indirekten Sehens besonders auch noch auf die spaltförmigen Pupillen des Katzenauges hingewiesen, durch welche die Lageunterschiede der Zerstreuungskreise in der zu dem Spalt senkrechten, also horizontalen Richtung begünstigt werden müssen, was vermutlich mit der Gewohnheit des Tieres, seinen Feinden und seiner Beute mit auf den Fußboden gelagertem Kopfe aufzulauern, zusammenhänge[2].

Abgesehen von der monokularen Erzeugung von Spiegelung und Glanz gibt es übrigens noch manche andere Erscheinungen, in denen sich primäre Faktoren der Tiefenvorstellung im monokularen Sehen verraten. So hat EINTHOVEN bemerkt, daß die Zerstreuungskreise, die durch die sphärische und chromatische Aberration des Auges entstehen, zugleich mit Tiefenvorstellungen verbunden sind[3]. Sehr deutlich kann man ferner auch Tiefenerscheinungen am Spektrum wahrnehmen. Schon bei dem gewöhnlichen, durch einen vor dem Prisma angebrachten vertikalen Spalt bewirkten Dispersionsspektrum beobachtet man, daß die helleren Teile, das Rot und namentlich das Gelb, näher, die dunkleren, Blau, Violett, ferner zu sein scheinen. Die Tiefenwirkung wird aber

---

[1] In Versuchen von R. MÜLLER, der beim Verschluß eines Auges eine vor oder hinter dem Fixierpunkt fallende Kugel im indirekten Sehen lokalisieren ließ, ergab sich diese Lokalisation als höchst unsicher, und offenbar war bei ihr die Gewöhnung an die normale deutliche Sehweite hauptsächlich von Einfluß. Für die Frage nach der Bedeutung der Parallaxe des indirekten Sehens sind aber diese Versuche wegen der gänzlich abweichenden Bedingungen ohne Bedeutung. (R. MÜLLER, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 402 ff.)

[2] KIRSCHMANN, a. a. O. S. 485 ff. Hinsichtlich der Beziehung der verschiedenen Faktoren zu der Tiefenwahrnehmung verspricht überhaupt die vergleichende Psychologie noch manche Aufschlüsse. Vgl. die bemerkenswerten Ausführungen von R. BERLIN, Über die Schätzung der Entfernungen bei Tieren. Zeitschrift für vergleich. Augenheilkunde, Bd. 7, 1891, S. 1 ff. Es sei hier nur hingewiesen auf die schon oben (S. 639) berührten Leistungen des Akkommodationsapparates der Vögel, womit wohl zugleich die große Sehschärfe auch der Seitenteile des Vogelauges zusammenhängt; ferner auf das zur Abschätzung von Tiefendistanzen besonders befähigte Sehorgan des Pferdes mit einer Basaldistanz des Doppelauges, welche die des Menschen etwa um das dreifache übertrifft.

[3] EINTHOVEN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 71, 1898, S. 1 ff. Wenn EINTHOVEN auch die geometrisch-optischen Täuschungen (die MÜLLER-LYERschen, ZÖLLNERschen, POGGENDORFFschen Figuren) hieraus abzuleiten sucht, so scheitert freilich diese Erklärung daran, daß, wie oben (S. 582 ff.) ausgeführt, in diesen Fällen die perspektivischen Erscheinungen nicht Ursachen, sondern Wirkungen der Täuschungen sind.

bedeutend erhöht, wenn man statt eines geradlinigen einen irgendwie gebogenen Spalt anwendet, wo sich nun durch die wechselnde Lage der Teile des Spektrums die Wirkungen wiederholen und dadurch steigern. Ich finde die Erscheinung am schönsten bei einem S-förmigen Spalt. Dabei sind offenbar zwei Momente von Einfluß: einerseits das primäre, daß sich unser Auge nicht auf alle Strahlen gleichzeitig einstellen kann und in der Regel die helleren in der Akkommodation bevorzugt, und anderseits das assoziative, daß dunklere und undeutlichere Objekte ferner erscheinen. Das Phänomen ist also einerseits mit den Erscheinungen von Spiegelung und Glanz, anderseits mit denen der Luftperspektive verwandt[1].

6. Theorie der räumlichen Gesichtsvorstellungen.

a. Die nativistische Theorie.

Die Anschauung, daß mit dem Sinneseindruck unmittelbar auch die Art und Weise gegeben sei, wie wir ihn auf äußere Gegenstände beziehen und ihn räumlich und zeitlich zu andern Eindrücken ordnen, — diese Anschauung, die oben (S. 517) als die nativistische bezeichnet wurde, kann sich bei dem Gesichtssinn anscheinend mehr als bei irgendeinem andern Sinnesgebiet auf die unmittelbare Beschaffenheit der Sinnesorgane selbst und ihrer Wirkungen berufen. Darin, daß das Netzhautbild, abgesehen von seiner umgekehrten Lage, seinem Gegenstand gleiche, sah man von dem Augenblick an, wo diese optische Eigenschaft des Auges entdeckt war, ein sinnenfälliges Zeugnis dafür, daß das Objekt so zu sagen unmittelbar mit seinen räumlichen Eigenschaften mittels der Lichtstrahlen in den Sehenden hinüberwandere, um dann von ihm wieder in den äußeren Raum mit denselben Eigenschaften projiziert zu werden, die ihm dort objektiv zukommen. Nachdem die Lehre der alten Naturphilosophen von den sich ablösenden Bildchen, soweit sie die qualitativen Eigenschaften der Empfindungen betraf, durch die physikalischen Lichttheorien längst beseitigt war, blieb man daher in der Interpretation der räumlichen Eigenschaften des Sehprozesses gleichwohl im wesentlichen bei ihr stehen. Höchstens zerbrach man sich darüber den Kopf, wie trotz der umgekehrten Lage des Netzhautbildes das aufrechte Objekt aufrecht gesehen werden könne, war aber meist bereit, dies Problem auf dem einfachen Wege zu lösen, daß man jener ursprünglichen Verlegung des Bildes in den äußeren Raum die umgekehrte Richtung zu der anwies, die der Lichtstrahl selbst bei der Entwerfung des Bildes genommen.

---

[1] Ähnliche bei der binokularen Vereinigung verschiedenfarbiger Streifen hervortretende Erscheinungen beschreibt KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 123 ff. und Taf. VI.

Eine weitere Bestätigung dieser naiven Anschauungen erblickte man später in der Existenz des »Chiasma« der Sehnerven, das ohne weiteres als eine Einrichtung angesehen wurde, welche den auf ein und dasselbe Objekt bezogenen Bildteilen eine einheitliche Repräsentation im Gehirn sichere, so daß sich das in den beiden Augen entstandene Doppelbild wieder zu einem einzigen Bilde vereinige[1]. Ihren klassischen Ausdruck fand diese Auffassung in JOHANNES MÜLLERS »vergleichender Physiologie des Gesichtssinnes«[2]. Die beiden Sätze: »die Netzhaut empfindet sich selbst räumlich ausgedehnt und verlegt jeden Reiz im Sinne der Richtungsstrahlen in den äußeren Sehraum«, und: »identische Punkte beider Netzhäute werden im Sensorium durch einen einzigen Punkt repräsentiert«, — diese Sätze bezeichnen deutlich die subjektive Umdeutung und Ergänzung, die nunmehr die alte Lehre von der unmittelbaren Wirkung der von den Objekten losgelösten Bilder auf das Auge erfahren hatte. Die Bewegungen des Auges erscheinen so schon bei MÜLLER, und nach seinem Vorbild auch noch in den späteren Theorien, gegenüber dem Netzhautbild durchaus nur als sekundäre Hilfsmittel: sie ermöglichen es, sukzessiv verschiedene Teile des äußeren Raumes durch den Wechsel der Fixationspunkte aufzufassen; auch sichert die Synergie der binokularen Bewegungen gegen die Entstehung allzu störender Doppelbilder, im übrigen aber liegt das Wesen der räumlichen Vorstellung ganz und gar in der räumlichen Beschaffenheit des Netzhautbildes eingeschlossen. Dies ist die Stellung, die im großen und ganzen die nativistische Hypothese bis zum heutigen Tage einnimmt. In der Vertretung derselben machen sich aber zwei Richtungen geltend: eine allgemeinere, die sich die Behandlung der Probleme des Sehens im einzelnen erläßt, um lediglich auf Grund irgendwelcher erkenntnistheoretischer Überlegungen oder auch bloß dem »principium simplicitatis« zuliebe dem Nativismus zuzustimmen. Ihr ist die nativistische Lehre entweder dadurch gesichert, daß sie mit der KANTschen Apriorität des Raumes übereinstimme, oder, auf einem etwas skeptischeren Standpunkt, dadurch, daß die logische Deduktion einer räumlichen Ordnung der Empfindungen aus irgendwelchen unräumlichen Qualitäten unmöglich sei[3]. Die zweite Gestaltung der nativistischen Theorie unterscheidet sich darin zu ihrem Vorteil von dieser

---

[1] Über die Verhältnisse der Sehnervenkreuzung vgl. Bd. 1, S. 280 ff.

[2] J. MÜLLER, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. 1826.

[3] Als Beispiele einer Ausführung der nativistischen Theorie in diesem mehr negativen Sinne seien genannt: W. JAMES. Principles of Psychology, vol. 2, 1890, p. 222 ff. EBBINGHAUS, Grundzüge der Psychologie. Bd 1, 1902, S. 442 ff. 2. Aufl. 1905, S. 445 ff. Einen Nativismus auf KANTscher Grundlage vertreten z. B. A. CLASSEN, Physiologie des Gesichtssinns. 1889. J. STILLING, Psychol. der Gesichtsvorstellung nach KANTS Theorie der Erfahrung. 1901.

ersten, daß sie derjenigen Aufgabe nachzukommen sucht, die jede Theorie, wenn sie überhaupt auf diesen Namen Anspruch erheben will, lösen muß: der Aufgabe nämlich, die einzelnen Erscheinungen aus den gemachten Voraussetzungen abzuleiten. Indem die erste Form des Nativismus dies nicht tut, hat sie mehr den Wert eines Glaubensbekenntnisses als den einer wissenschaftlichen Theorie. Ihr gegenüber sei darum nur hervorgehoben, daß sie, mag sie im übrigen metaphysisch, empirisch oder skeptisch sein, den entgegengesetzten Theorien eine Absicht zuschreibt, die diese im allgemeinen wohl nur selten gehegt haben: die Absicht nämlich, den Raum aus irgend etwas, das noch nicht Raum ist, mit logisch zwingender Evidenz ableiten zu wollen. Daß diese Tendenz bei irgend jemandem bestehe, der die Aufgaben der psychologischen Interpretation in dem Sinne auffaßt, in welchem sie heute allein verstanden werden sollten, nämlich in dem einer zusammenhängenden Nachweisung der tatsächlich stattfindenden psychischen Entwickelungen und ihrer Bedingungen, wird man schwerlich annehmen können. Der Irrtum dieser Klasse von Nativisten besteht daher darin, daß sie ihren eigenen Standpunkt, der im allgemeinen nicht derjenige der psychologischen Analyse, sondern der logischen Reflexion ist, auch auf die von ihnen beurteilten Anschauungen übertragen und so die psychologische Interpretation mit einer logischen Deduktion der Erscheinungen verwechseln. Nun ist, wie der bisherige Gang unserer Betrachtungen mehrfach gezeigt hat, das Unternehmen, irgendein zusammengesetztes psychisches Erlebnis aus den Elementen, die in dasselbe eingehen, logisch deduzieren zu wollen, überhaupt ein unmögliches, die Natur des psychischen Geschehens und infolgedessen auch den Sinn psychologischer Erklärung mißverstehendes Unternehmen. Man kann den Raum und die Zeit aus den elementaren Empfindungen, die in sie eingehen, nicht so deduzieren, daß sie demjenigen deutlich werden könnten, der sie nicht selbst erlebt hat, gerade so wenig wie man die Wirkung eines Akkords aus der Summe seiner einzelnen Töne deduzieren kann. Die einzige wirkliche Aufgabe ist hier wie überall auf psychologischem Gebiet die, daß man die Bedingungen nachweist, unter denen die zusammengesetzten psychischen Vorgänge zustande kommen, und die Beziehungen, die zwischen den Elementen derselben und ihren komplexen Resultanten bestehen, um dann auf Grund dieser Beziehungen das Wesen der psychischen Entwickelungen selbst erkennen zu lernen.

Unter diesen Aufgaben findet nun die erste und unerläßlichste, die einer Interpretation der einzelnen Erscheinungen, nur bei der zweiten der erwähnten Formen nativistischer Hypothesen die erforderliche Berücksichtigung, da man sich hier nicht mit der Aufstellung allgemeiner Be-

hauptungen begnügt, sondern bestimmte, klar formulierte Voraussetzungen macht, auf Grund deren, nötigenfalls unter Hinzunahme physiologischer oder psychologischer Hilfshypothesen, ein übersichtliches Bild der Gesamtheit der Erscheinungen gegeben wird. In der neueren Physiologie des Gesichtssinnes hat sich diese zweite Form nativistischer Hypothesen in naturgemäßer Weiterbildung der Lehre JOHANNES MÜLLERs entwickelt. Sie hat, nachdem E. BRÜCKE, A. NAGEL, P. L. PANUM u. a. einzelne Vorarbeiten geliefert, schließlich in EWALD HERINGs Theorie ihren Abschluß gefunden. Ihm haben sich durchgängig die dem Nativismus zugetanen Physiologen angeschlossen. Wir können uns darum hier auf die HERINGsche Theorie und bei ihr wieder auf die allgemeinen Voraussetzungen beschränken, von deren Zulässigkeit selbstverständlich auch die Berechtigung der einzelnen Anwendungen abhängt[1].

Die beiden Sätze JOHANNES MÜLLERs von der unmittelbaren Raumempfindung der Netzhaut und von der konstanten räumlichen Zuordnung je zweier zusammengehöriger Netzhautpunkte im Doppelauge bilden die Axiome der nativistischen Theorie auch in dieser neuen Form. Allerdings gilt aber heute nicht mehr die auf die rein anatomische Lagebeziehung gegründete Zuordnung MÜLLERs, sondern es wird der früher (S. 595) erwähnten Abweichung der scheinbaren Vertikalen Rechnung getragen. Als räumlich äquivalent werden also nicht die »identischen«, sondern die »korrespondierenden« Punkte in dem oben (S. 640) erwähnten Sinne angesehen. Die Fläche, auf der die von korrespondierenden Punkten der Längsschnitte aus gezogenen Richtungslinien sich schneiden, soll dann die »Kernfläche des Sehraums« bilden, welche die ursprüngliche und natürliche Ordnung unserer Raumempfindungen enthalte. Was vor ihr liegt wird näher, was hinter ihr liegt wird ferner empfunden, gleichgültig ob es einfach oder, was zumeist erst bei größerem Distanzunterschied eintritt, doppelt gesehen wird. Auch die Tiefe des Raumes ist also unmittelbarer Inhalt der Gesichtsempfindungen, — darin liegt ein wesentlicher Fortschritt über die Lehre MÜLLERs, der die unmittelbare Empfindung der Tiefe nur dem Tastsinn zuschrieb. Zugleich wird damit den seitdem gefundenen Tatsachen des stereoskopischen Sehens Rechnung getragen; und durch die gemeinsame Sehrichtung der Netzhautzentren ist der Fixierpunkt unmittelbar als der Kernpunkt des Sehraums bestimmt. Diese auf der ursprünglichen Ordnung der Netzhautpunkte beruhenden

[1] Die Grundlagen der Theorie finden sich schon bei PANUM, Über das Sehen mit zwei Augen, 1858, die nähere Ausführung bei HERING, Beiträge zur Physiologie, 1861—64, die definitive Gestaltung in desselben Art. Raumsinn des Auges, in HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, I, 1879, S. 386 ff. Eine Übersicht über den gegenwärtigen Stand der Frage vom nativistischen Standpunkte aus und über die zugehörige neueste Literatur gibt A. TSCHERMAK in den Ergebnissen der Physiologie, IV, 1905, S. 517 ff.

Raumempfindungen sollen nun aber durch zwei psychologische Momente Veränderungen erfahren: das erste ist die »Erfahrung«, das zweite die »Aufmerksamkeit« oder der »Wille«. Die Erfahrung vermittele eine genauere Orientierung im Raume, namentlich bei den im allgemeinen sehr unsicheren Tiefenschätzungen; außerdem veranlasse sie überhaupt, gegenwärtige nach früheren Eindrücken zu beurteilen. Demgegenüber schreibt man der »Aufmerksamkeit« eine mehr primäre Bedeutung zu. Sie ist es, die das, was in dem System ursprünglicher Raumempfindungen noch unsicher ist, fest bestimmt: die Lage des Fixierpunktes und damit des ganzen Sehraumes zum Sehenden. Wir besitzen, wie schon MÜLLER gelehrt hatte, eine ursprüngliche Empfindung der räumlichen Ausdehnung unseres eigenen Körpers, und wir besitzen die Fähigkeit, unsere Aufmerksamkeit beliebig in dem umgebenden Raume wandern zu lassen. Einer solchen Wanderung der Aufmerksamkeit soll dann die Bewegung des Fixierpunktes folgen, und diese ist wieder von Bildänderungen begleitet, die die Orientierung vollkommener machen. Als beweisend für diese primäre Bedeutung der Aufmerksamkeit werden jene pathologischen Erfahrungen angesehen, nach denen bei Augenmuskellähmungen die Patienten Verschiebungen der absoluten Raumwerte eintreten sehen, ohne daß doch in Wirklichkeit Blickbewegungen stattfinden. Hieraus folgert man, daß es nicht die Augenstellung sei, welche die Lokalisation des Fixationspunktes vermittle, sondern die »Aufmerksamkeit«, die bei dieser fundamentalen Raumfunktion als identisch mit dem »Willen« betrachtet wird[1]. »Der bloße Wille rechts zu blicken,« sagt MACH[2], »gibt den Netzhautbildern an bestimmten Netzhautstellen einen größeren Rechtswert.« Daraus folgt, daß »der Wille Blickbewegungen auszuführen oder die Innervation die Raumempfindung selbst ist«. Wenn man von dieser Theorie rühmt, sie behandle die Gesichtswahrnehmung als ein rein physiologisches Problem, so ist, wie man hieraus sieht, diese Behauptung nicht berechtigt. Die Theorie enthält neben den physiologischen sehr wesentliche psychologische Voraussetzungen. Auch ist sie keineswegs streng nativistisch, denn sie läßt der Erfahrung einen sehr weiten und ziemlich willkürlichen Spielraum. Dies ist nun auch an sich wohl begreiflich. Da eine Sinneswahrnehmung weder ein bloß physischer noch ein rein psychischer, sondern ein aus beiden Faktoren gemischter »psycho-physischer« Vorgang ist, so bedarf eben jede Theorie ebensowohl physiologischer wie psychologischer Voraussetzungen. Die Beschaffenheit dieser Voraussetzungen und die Art

---

[1] HERING, a. a. O. S. 534 ff. Vgl. hierzu die nähere Analyse dieser Lokalisationstäuschungen oben Kap. X, S. 232 ff.

[2] MACH, Beiträge zur Analyse der Empfindungen[1], S. 57, [2] S. 95.

wie sie miteinander verbunden sind, bilden daher auch in erster Linie die charakteristischen Eigenschaften einer Theorie. Demgegenüber spielt die Frage, ob »angeboren« oder nicht, eigentlich eine untergeordnete Rolle. Dies zeigt die obige Skizze der Grundgedanken der »nativistischen Theorie« hinlänglich. Denn das Wesentliche dieser Theorie liegt gar nicht in ihrem sogenannten »Nativismus«, sondern darin, daß sie als die physiologische Grundbedingung der Wahrnehmung die anatomische Anordnung und Zuordnung der Netzhautpunkte betrachtet, während sie psychologisch der individuellen Erfahrung mannigfach modifizierende, bald berichtigende bald irreführende Einflüsse zugesteht, zugleich aber den Willen (wir können uns, da die Identität der Aufmerksamkeit mit ihm hervorgehoben wird, auf ihn beschränken) als einen ähnlich primären Raumfaktor auffaßt wie jene ursprünglichen Strukturbedingungen der Netzhaut. Denn man kann doch nicht wohl annehmen, daß die »Kernfläche des Sehraums« oder irgend etwas vor ihr oder hinter ihr jemals gesehen werde, ohne daß es zugleich irgendwo gesehen wird. Letzteres geschieht aber durch den Willen, daher denn auch »der Wille Blickbewegungen auszuführen die Raumempfindung selbst« ist. Wollten wir die Theorie in nativistische und empiristische Bestandteile zerlegen, so würden demnach die ersteren wieder in einen physiologischen, die Anordnung und Korrespondenz der Netzhautelemente, und in einen psychologischen, das angeborene Willensvermögen, zu unterscheiden sein. Aber so klar sich von diesen primären Faktoren die Erfahrungseinflüsse auf den ersten Blick als sekundäre zu sondern scheinen, so erweist sich doch bei näherem Zusehen auch dieser Unterschied als ein fließender. Bei JOHANNES MÜLLER waren die »identischen« Punkte unmittelbar durch ihre anatomische Lage bestimmt; sie konnten ohne Rücksicht auf eine physiologische Prüfung ihrer Raumfunktion aufgefunden werden. Dieser Identitätsbegriff MÜLLERs ist jetzt aufgegeben. Als »korrespondierend« gelten nicht mehr Punkte von identischer Lage, sondern solche, die sich bei der physiologischen Funktionsprüfung in der Regel als »Deckstellen« erweisen, und diese sind nicht Stellen von identischer Lage. Nun erweckt aber jene Abweichung der korrespondierenden Längsschnitte der Netzhäute von der anatomischen Symmetrie unvermeidlich die Frage nach ihrer Bedeutung; und bei dem engen Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion, der uns überall im Organismus begegnet, wird man offenbar dazu gedrängt, jene in funktionellen Verhältnissen zu suchen. In der Tat läßt sich, wie wir oben sahen, die Abweichung der korrespondierenden Längsschnitte unmittelbar mit den Gesetzen der Augenbewegungen in Beziehung bringen, die ihrerseits wieder in dem Zusammenhang der Auf- und Abwärtsbewegungen der

Blickebene mit der Einstellung auf nahe und ferne Objekte eine naheliegende funktionelle Erklärung finden (S. 595). Wie dem aber auch sei, jedenfalls wird man in diesem Verhältnis nicht einen anatomischen Zufall, sondern den Ausdruck irgendeines funktionellen Zwangs erblicken dürfen. Ist dies der Fall, so mag man vielleicht annehmen, die Zuordnung der korrespondierenden Punkte sei nicht erst während des individuellen Lebens entstanden, sondern mindestens innerhalb der generellen Entwickelung vorbereitet. Immerhin rücken dadurch auch die von der nativistischen Theorie als sekundäre Momente zugelassenen individuellen Erfahrungseinflüsse in eine andere Beleuchtung. Sie treten jenen ursprünglichen Raumfunktionen nicht als völlig ungleichartige Bedingungen gegenüber, sondern es setzen sich in ihnen eigentlich nur Entwickelungsmotive fort, die dort schon wirksam gewesen sind; und die Wahrscheinlichkeit ist nicht mehr abzuweisen, daß selbst in jenen konstanten Raumfunktionen, die von den spezielleren, von Fall zu Fall wirkenden Erfahrungsmotiven relativ unabhängig sind, die während des individuellen Lebens wirkenden dauernderen Einflüsse ihre Spuren zurückgelassen haben. Gerade die individuellen Schwankungen in der Abweichung der korrespondierenden Längsschnitte können leicht in diesem Sinne gedeutet werden. Auf diese Weise wird der Unterschied zwischen Nativismus und Empirismus ein fließender. Der Nativismus wandelt sich sozusagen in einen auf die generelle Entwickelung erweiterten Empirismus um; und da ein Glied innerhalb dieser Entwickelung auch das Individuum ist, so ist die Frage, inwieweit in den vererbten und angeborenen Funktionen individuelle Abänderungen möglich seien, zunächst eine offene, die in jedem einzelnen Fall der näheren Untersuchung bedarf.

Anders verhält es sich freilich mit jenem Bestandteil der Theorie, den man als ihren psychologischen Nativismus bezeichnen könnte. Nach diesem gibt es kein wirkliches Sehen, bei dem wir nicht die Sehdinge in irgendeiner Richtung erblicken, durch die ihr Verhältnis zu unserem eigenen unmittelbar räumlich empfundenen Körper ausgedrückt werde: diese Richtungsbestimmung soll durch unsern »Willen« geschehen, der, weil es ohne solche Richtungsbestimmung keinen Raum gibt, von MACH folgerichtig die »Raumempfindung selbst« genannt wird. Nun ist es aber klar, daß dieser psychologische Nativismus zunächst mit dem physiologischen der Netzhautelemente in einen schwer lösbaren Konflikt gerät. Entweder gewinnen die letzteren die ihren Empfindungen anhaftende räumliche Eigenschaft erst dadurch, daß der Wille die Empfindungen irgendwohin lokalisiert: dann ist ihre angeborene Raumfunktion hinfällig, der Raum ist ausschließlich eine Funktion des Willens und, weil der Wille eine ursprüngliche, selbst ohne ein eigentliches Empfindungs-

substrat zu denkende Funktion ist (Muskelempfindungen werden ja ausdrücklich abgelehnt), eine sogenannte »reine Anschauung a priori«, in welche die Netzhautempfindungen eingetragen werden. Oder die räumliche Ordnung kommt überall nur durch ein Zusammenwirken des Willens mit den Netzhautempfindungen zustande: dann ist die Raumanschauung, da ein solches Zusammenwirken erst während des individuellen Lebens entstehen kann, selbst ein Produkt der individuellen Entwickelung, und der Boden der nativistischen Theorie ist verlassen. Zu diesen augenfälligen Schwierigkeiten kommt endlich, psychologisch betrachtet nicht als die geringste, der eigentümliche Willensbegriff dieser Theorie. Jener die Richtungen im Raum bestimmende und die Blickbewegungen lenkende Wille soll weder aus Sinnesempfindungen noch aus Gefühlen bestehen, er soll »reiner Wille« sein. Er ist also offenbar nichts als ein abstrakter Begriff. Er ist, darüber kann man sich nicht täuschen, das Willensvermögen der alten Vermögenspsychologie. Dabei ist es aber merkwürdig, daß die nativistische Theorie, indem sie hier einen abstrakten Begriff in eine wirkende Kraft umwandelt, ihrerseits nichtachtend an Organisationsbedingungen vorübergeht, die ebenso gut wie die Anordnung der Netzhautelemente angeborene sind. Die Beziehungen der Augenbewegungen zu den Netzhauteindrücken sind nach ihr während des Lebens unter der Lenkung der Aufmerksamkeit und des Willens entstanden, während doch gerade beim Auge ursprüngliche, rein physiologische Reflexverbindungen, wie zwischen den Irisbewegungen und den Lichteindrücken, so auch zwischen diesen und den Augenbewegungen tatsächlich vorhanden sind. Diese ebenfalls angeborenen Beziehungen werden von der nativistischen Theorie, wie es scheint, nur deshalb ignoriert, weil die Vorstellung der alten Naturphilosophen, daß das Netzhautbild aus dem Objekt selbst mit allen seinen räumlichen Eigenschaften herübergewandert sei, in ihr immer noch nachwirkt.

Die Mängel der nativistischen Theorie lassen sich hiernach auf drei Momente zurückführen. Erstens behält sie die rein anatomische Begründung des MÜLLERschen Identitätsprinzips bei, obgleich der Versuch der Anpassung dieses Prinzips an die Erfahrung in dem Ersatz der »identischen« durch die »korrespondierenden« Punkte zwingend auf funktionelle Motive hinweist. Zweitens arbeitet sie mit dem unhaltbaren Willensbegriff der Vermögenspsychologie, der hier, wie in andern Fällen, an die Stelle der wirklichen Analyse der Erscheinungen ein bloßes Wort treten läßt. Drittens schränkt sie, durch eben diesen falschen Vermögensbegriff verführt, das nativistische Prinzip einseitig und vollkommen willkürlich auf die sensorische Seite der Sehfunktionen ein, statt es in den ihm zukommenden berechtigten Grenzen auch auf die motorische auszudehnen. Trotz

dieser schweren und unheilbaren Mängel hat die nativistische Theorie ein Verdienst. Es besteht darin, daß sie, gegenüber einer einseitigen Überschätzung der während des individuellen Lebens einwirkenden Bedingungen der Wahrnehmungsvorgänge, eindringlich, wenn auch einseitig, auf die Bedeutung der ursprünglichen psychophysischen Organisation der Sinnesapparate hinwies.

b. Die empiristische Theorie.

Die empiristische Theorie ist durch den älteren philosophischen Empirismus und seine Vertreter in der Psychologie, wie JAMES MILL, JOHN STUART MILL, ALEX. BAIN u. a., vorbereitet worden. Ihre für die Gegenwart maßgebende Ausbildung hat sie durch HELMHOLTZ gefunden, der darum hier ebenso als der klassische Repräsentant des Empirismus wie HERING als der des Nativismus betrachtet werden darf. Als methodologische Regel dieser Anschauung hat HELMHOLTZ den Satz aufgestellt, nichts dürfe in unseren Sinneswahrnehmungen als Empfindung anerkannt werden, »was durch Momente, die nachweisbar die Erfahrung gegeben hat, im Anschauungsbilde überwunden und in sein Gegenteil verkehrt werden kann«. Nach dieser Regel sollen »nur die Qualitäten der Empfindung als wirklich reine Empfindungen zu betrachten«, die Raumanschauungen also ein »Produkt der Erfahrung und Einübung« sein[1]. Beide setzen wiederholte Sinneseindrücke, Gedächtnis, Aufmerksamkeit und namentlich Urteile und Schlüsse voraus, wobei sich aber die letzteren bei der Anschauung nicht, wie beim eigentlichen Denken, in bewußter Weise, sondern als unbewußte Denkakte vollziehen sollen. Ihrer logischen Beschaffenheit nach sind dieselben »Induktionsschlüsse«, da wir bei ihnen nach früheren Erfahrungen neue Eindrücke beurteilen[2]. Den Resultaten aller dieser Schlüsse wird nun, eben weil sie nicht bewußte Denkakte sind, die Eigenschaft zugeschrieben, daß man ihren Inhalt nicht angeben könne, ohne das, was in ihm ausgesprochen ist, eigentlich schon vorauszusetzen. Ich kann immer nur sagen: »links ist etwas helles, weil ich es dort sehe«, oder: »wenn ich das Auge rechts drücke, so sehe ich links einen Schein« u. dergl., Urteile, in denen die durch die Wahrnehmung gewonnenen räumlichen Bestimmungen schon enthalten sind[3]. Der Wirklichkeit gegenüber

---

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik², S. 611. HELMHOLTZ sagt allerdings nur »die meisten Raumanschauungen«. Da aber unmittelbar vorher der Inhalt der reinen Empfindung unbedingt auf die Qualitäten derselben eingeschränkt wird, so ist wohl die Raumanschauung überhaupt gemeint.

[2] »Analogieschlüsse« nennt sie darum auch HELMHOLTZ in der 1. Aufl. (S. 430). In der 2. Aufl. ist dieser Name hinweggelassen. Die Schilderung des stattfindenden Schlußverfahrens ist aber unverändert geblieben.

[3] A. a. O.² S. 582 f.

sind daher die Empfindungen »Zeichen«, die auf jene hindeuten, nicht sie selbst. Indem aber in der Ordnung dieser Zeichen eine ebensolche Gesetzmäßigkeit herrscht, wie wir sie für die Wirklichkeit voraussetzen, folgt auch das unbewußte Denken der sinnlichen Wahrnehmungen dem »Kausalgesetz«, das demnach »ein a priori gegebenes, ein transzendentales Gesetz« ist[1].

Die Erfahrungsmotive, die der räumlichen Ordnung der Lichteindrücke zugrunde liegen, müssen hiernach notwendig von dreierlei Art sein. Sie bestehen: 1) aus Empfindungen, die uns eine richtige Kenntnis der Stellung unseres Körpers und Kopfes gegen eine beliebig gewählte äußere Grundlage, z. B. den Fußboden, geben, 2) aus Empfindungen, die ein Urteil über die Stellung unserer Augen im Kopfe möglich machen, 3) aus Momenten der Empfindung, sogenannten Lokalzeichen, durch die wir die Reizung einer bestimmten Netzhautstelle von der Reizung aller andern unterscheiden. Unter diesen drei Erfahrungsmotiven ist uns das erste in den Tastempfindungen gegeben, das zweite in »Innervationsgefühlen«, die teils die wirklichen Bewegungen und Stellungen, teils aber die bloß intendierten Bewegungen des Auges begleiten. Das dritte ist hypothetisch: wie die Lokalzeichen beschaffen sind, wissen wir nicht, und es ist gleichgültig, ob wir eine regelmäßige oder eine beliebig unregelmäßige Verteilung derselben über die Netzhautfläche annehmen. Da nun die Wahrnehmung der Stellungen unseres Körpers dem Gebiet des Tastsinnes zufällt, so kommen für die Gesichtswahrnehmungen als solche hauptsächlich das zweite und dritte Motiv in Betracht. Hierbei vermitteln die Lokalzeichen die Wahrnehmung der räumlichen Ordnung der Objektpunkte, die »Innervationsgefühle« der Augenmuskelnerven die der Stellung der Objekte zu unserem Körper, und beim binokularen Sehen verbinden sich die Innervationsgefühle beider Augen zur mittleren Sehrichtung, während zugleich die durchgängig verschiedenen Lokalzeichen beider Augen die Bildung stereoskopischer Wahrnehmungen vermitteln, an die sich dann die weiteren Erfahrungsmotive der zeichnerischen und malerischen Perspektive anschließen. Die Sinnestäuschungen aber sind, so weit sie nicht auf direkter Veränderung des Netzhautbildes beruhen, als »Urteilstäuschungen« zu betrachten, die durch einen ungewöhnlichen, der normalen Erfahrung nicht entsprechenden Gebrauch unserer Sinnesorgane entstehen[2].

Nun kann zunächst die methodologische Regel, von der diese Theorie ausgeht, keineswegs als das, wofür sie sich ausgibt, als ein unbestreit-

[1] Ebend. S. 594.
[2] Ebend. S. 948 ff.

bares Axiom gelten. Die Annahme, was durch Erfahrungseinflüsse verändert oder sogar in sein Gegenteil verkehrt wird, sei selbst erst durch Erfahrung entstanden, ist möglich, aber nicht logisch notwendig. Man wird sie höchstens als eine vorläufige heuristische Maxime gelten lassen können, die ihre Berechtigung durch ihre Brauchbarkeit zu erweisen hat. Hier zeigt sich aber bei der Anwendung der drei oben angeführten Erfahrungsmotive auf die speziellen Probleme, daß in ihnen allen schon irgend etwas Räumliches vorausgesetzt ist, das immer nur durch Erfahrungseinflüsse modifiziert werden kann. Mögen sich z. B. die »Innervationsgefühle« oder, wie wir es nach dem früher (S. 38) bemerkten wohl besser ausdrücken, die zentralen Innervationsempfindungen noch so oft wiederholen, wir werden nie durch Erfahrung dazu kommen, sie auf die Stellung unserer Augen im Raum zu beziehen, wenn sie nicht selbst eben das, worin sie uns orientieren sollen, den Raum, schon enthalten. Genau ebenso verhält es sich mit den Lokalzeichen. Zugegeben, jeder Netzhautpunkt sei mit einer solchen hypothetischen Qualität ausgestattet, durch die sich seine Reizung von der jedes andern Punktes unterscheide: so lange diese Qualität eine »reine Empfindung« ist, bleibt nicht abzusehen, wie sie durch noch so häufige Wiederholung und Vergleichung die räumliche Eigenschaft gewinnen soll. Nun neigt sich HELMHOLTZ offenbar der seit BERKELEY vielfach ausgesprochenen Meinung zu, es sei der Tastsinn, der, als der ursprünglichere Sinn, diese Beziehung der Lichteindrücke auf den Raum vermittle[1]. Dieser Annahme steht jedoch schon der Umstand im Wege, daß beim Menschen ein solcher Einfluß des Tastsinns durchaus nicht nachgewiesen werden kann, sondern daß im Gegenteil die Lokalisation der Tasteindrücke beim Sehenden und selbst noch beim Erblindeten unter der Mitwirkung der Gesichtsvorstellungen zustande kommt[2]. Und selbst wenn man diesen im vorliegenden Fall unzulässigen Schluß von der generellen auf die individuelle Entwickelung als berechtigt anerkennen wollte, so würde durch die Berufung auf den Tastsinn das Problem doch nur weiter zurückgeschoben. Das Resultat bleibt also, daß die empiristische Theorie die in ihrer methodologischen Regel gestellte Aufgabe nicht zu lösen vermag. Dieser Mißerfolg ist aber im letzten Grunde dadurch verschuldet, daß diese Theorie den der alten Erfahrungsphilosophie entnommenen Satz, alles Wissen stamme aus der Erfahrung, auf die diesem Satze unzugänglichen, weil in jenem Begriff der Erfahrung überhaupt nicht enthaltenen Tatsachen der Sinneswahrnehmung anzuwenden sucht. Als der

---

[1] A. a. O. S. 947.

[2] Siehe oben Kap. XIII, S. 485 ff.

von JOHN LOCKE und seiner Schule vertretene philosophische Empirismus den Satz aufstellte, alles Wissen stamme aus der Erfahrung, bezog er ihn ebenso gut auf einfache Empfindungen wie auf zusammengesetzte Wahrnehmungen; aber er bezog ihn nicht oder doch nur in beschränktem Umfang auf das, was zwischen beiden liegt: auf die Prozesse, durch die sich Empfindungen zu Wahrnehmungen verbinden. Denn die Probleme der heutigen Sinneslehre existierten für ihn nicht, da ihm zahlreiche Vorstellungen, die wir heute als zusammengesetzte betrachten, noch für einfache Empfindungen galten. Dazu gehörten vor allem auch die Raumvorstellungen. Sie sind ihm, wie die Empfindungen überhaupt, das Material, dessen sich die Erfahrung bemächtigt, und aus dem sich unsere Erkenntnis der Dinge aufbaut. Schon in der Psychologie des 18. Jahrhunderts änderte sich jedoch allmählich diese Sachlage. Die Veränderlichkeit der Wahrnehmungsinhalte unter wechselnden objektiven wie subjektiven Bedingungen führte zu der Überzeugung, daß manche Eigenschaften, wie die Vorstellung der Entfernung und der Größe der Objekte, keineswegs zum unveränderlichen Bestand der Empfindungen gehörten. Da man aber neben diesem nur jene durch gedächtnismäßiges Anhäufen und logisches Vergleichen entstandene Beurteilung des Wahrgenommenen kannte, die man eben »Erfahrungserkenntnis« nannte, so wurden nun solche besondere Bestandteile der Sinneswahrnehmung ebenfalls zu den Produkten dieser Erfahrungserkenntnis gerechnet. So bildete sich eine Anschauung aus, die zuletzt auch in der Sinnesphysiologie des 19. Jahrhunderts die herrschende wurde, und nach der die räumlichen »Flächenwahrnehmungen« dem ursprünglichen Empfindungsinhalt zufallen, die »Tiefenwahrnehmungen« durch Erfahrung entstehen sollten. Diese zwiespältige Auffassung zusammengehöriger und durchgängig übereinstimmender Erscheinungen erweckte aber schließlich doch wieder das Streben nach einer einheitlichen Erklärung. Ihr standen dann zwei entgegengesetzte Wege offen: entweder konnte man versuchen, die ganze Raumanschauung nach Fläche wie Tiefe dem Tatbestand ursprünglicher Empfindungen einzuverleiben; oder man konnte sie in allen ihren Teilen aus der Erfahrung ableiten. So entstanden, als die Endglieder dieser Entwickelung, die nativistische und die empiristische Theorie. Bei beiden Theorien war jedoch ein Gesichtspunkt übersehen, der bei der psychologischen Behandlung der Wahrnehmungsprobleme um so mehr in den Vordergrund treten mußte, je mehr sich indessen der dem alten Empirismus entstammende Begriff der »Erfahrung«, mit dem beide Theorien arbeiteten, auch von erkenntnistheoretischer Seite als ungenügend erwies. Dieser Gesichtspunkt besteht darin, daß ein psychologischer Vorgang, der auf einem Zusammenwirken von Empfindungen beruht, und bei dem

diese die Komponenten neuer und eigentümlicher psychischer Produkte bilden, nicht notwendig ein Prozeß sogenannter »Erfahrung« zu sein braucht, ja sogar nur selten durch diesen Ausdruck auch nur notdürftig nach seiner wirklichen Beschaffenheit angedeutet wird. Jede Sinneswahrnehmung bietet in jener Assimilation des Eindrucks durch eine meist unbestimmt große Anzahl reproduktiver Elemente, wie sie uns bei den geometrisch-optischen Täuschungen und bei andern Erscheinungen des Sehens wie in allen andern Sinnesgebieten so vielfach begegnet ist, einen psychologischen Vorgang, der das entstehende Produkt nicht als ein ursprüngliches, sondern als ein gewordenes, keineswegs aber als ein auf dem Wege der »Erfahrung« gewordenes erscheinen läßt[1]. Es gibt eben zwischen der angeborenen und der durch Erfahrung vermittelten Beschaffenheit unserer Vorstellungen ein Mittleres: dieses Mittlere besteht in den ebensowohl in der physischen Organisation der peripheren und zentralen Sinnesapparate wie in den allgemeinsten Eigenschaften des Bewußtseins begründeten Assoziationsvorgängen. Die Produkte, die aus ihnen hervorgehen, können nicht angeborene Tatsachen genannt werden, weil sie überall auf diese Vorgänge und die veränderlichen Einflüsse, unter denen sie stehen, hinweisen. Sie können aber auch nicht Erfahrungsprodukte genannt werden, weil die Erfahrung im eigentlichen Sinne überall bereits diese Produkte voraussetzt. Jener Hauptmangel der empiristischen Theorie, daß sie zwischen ursprünglichem und erfahrungsmäßig erworbenem Inhalt des Bewußtseins kein Mittleres kennt, verschuldet nun auch den eigentümlichen erkenntnistheoretischen Nativismus, dem diese Theorie im Widerspruch mit ihren eigenen Voraussetzungen anheimfällt. Wie und wo wir die Dinge sehen, das soll auf Erfahrung beruhen. Doch wir würden nach der empiristischen Theorie keine Erfahrungen machen können, wenn wir nicht das logische Denken und das Kausalgesetz, aus dem jenes in allen seinen Anwendungen entspringt, von Anfang an in uns trügen. Diese Ansicht hält in den drei Behauptungen, die sie einschließt, einer unbefangenen Prüfung nicht stand. Erstens sind unsere Wahrnehmungen keine logischen Denkakte: weder bewußte noch unbewußte. Zu den letzteren werden sie erst, wenn wir unsere nachträgliche Reflexion über die Dinge in diese selber hineintragen. Zweitens ist das Kausalgesetz kein Prinzip, auf das sich das logische Denken als solches zurückführen läßt, die Induktion so wenig wie die Deduktion; sondern es ist ein Prinzip, das sich überall auf Erfahrungsinhalte bezieht. Drittens ist es eben darum unmöglich, das Kausalgesetz ein Prinzip a priori zu nennen, es sei denn daß man entweder

[1] Vgl. oben S. 598 ff.

Begriffe ohne Anschauungen für möglich hält, oder daß man wenigstens im Anschlusse an KANT die ursprünglichen Anschauungsformen, Raum und Zeit, gleichzeitig mit dem Kausalbegriff für a priori gegeben hält. Das letztere wird aber ja gerade von der empiristischen Theorie wenigstens in bezug auf den Raum geleugnet.

Von den Anhängern der empiristischen Theorie sind als besonders schlagende Zeugnisse für die Entstehung der Gesichtswahrnehmungen durch Erfahrung noch die Beobachtungen an operierten Blindgeborenen angesehen worden. Die älteren Autoren pflegen großenteils rein theoretisch die Frage zu erörtern, wie die Wahrnehmungen eines von Geburt an Erblindeten, dem plötzlich das Augenlicht gegeben werde, beschaffen sein möchten[1]. Beobachtungen über solche Fälle sind namentlich von CHESELDEN[2], WARDROP[3], FRANZ[4] und in neuerer Zeit von TRINCHINETTI[5], HIRSCHBERG[6], VON HIPPEL[7], RAEHLMANN[8] und UHTHOFF[9] beschrieben worden. Dabei kommt jedoch in Betracht, daß es sich meist nur um Starkranke handelte, bei denen die Unterscheidung von Hell und Dunkel und der Richtungen des Lichtes schon vor der Operation möglich war. Alle Berichte stimmen nun darin überein, daß die Operierten ein Urteil über die Entfernung der Gegenstände nicht besitzen, und daß sie die Größe und Form derselben nur sehr unvollkommen auffassen, letzteres namentlich dann, wenn Erhabenheiten und Vertiefungen vorkommen. Ein Gemälde erscheint ihnen anfänglich wie eine bunt bemalte Fläche; erst allmählich lernen sie die Bedeutung der Schattierung und Perspektive verstehen. Dem Operierten von FRANZ erschienen entfernte Gegenstände so nah, daß er sich fürchtete an sie anzustoßen. Einfache Formen, wie Vierecke und Kreise, erkannte er zwar ohne Betastung, aber er mußte erst über sie nachdenken, wobei er angab, daß er gleichzeitig ein gewisses Gefühl in den Fingerspitzen (ohne Zweifel reproduzierte Tastempfindungen) zu Rate ziehe. Die von WARDROP operierte Dame, deren Blindheit vollständiger gewesen war, konnte einen Schlüssel und einen silbernen Bleistifthalter, die sie durch Betasten deutlich erkannt hatte, mit dem Gesicht nicht unterscheiden. Ganz ähnlich verhielten sich auch die von UHTHOFF Operierten. Offenbar sind in allen diesen Fällen jene Bestandteile der monokularen Gesichtswahrnehmung, die auf loseren Assoziationen beruhen (S. 693 ff.), unvollkommen oder gar nicht ausgebildet. Ebenso zweifellos geht aber auch aus den Be-

---

[1] Vgl. LOCKE, Human understanding, vol. 2, 9, § 8. BERKELEY, Theory of vision. 1709, § 41, p. 255. DIDEROT, Lettres sur les aveugles. 1749. Oeuvres. t. 3, 1773, p. 115. CONDILLACs ganzer Traité des sensations (1754) ist auf ähnliche Betrachtungen gegründet.

[2] Philos. Transact. vol. 35, 1728, p. 447. Vgl. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 587. [2] S. 731 ff.

[3] History of James Mitchell a boy born blind and deaf. 1813. Philos. Transact. vol. 3. 1826, p. 522. HELMHOLTZ, a. a. O.

[4] Philos. Mag., vol. 19, 1841, p. 156.

[5] Arch. des sciences phys. de Genève, t. 6, 1847, p. 336.

[6] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 1, 1875, S. 23.

[7] Ebend. Bd. 21, 2, 1875, S. 101.

[8] Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 2, 1891, S. 72 ff.

[9] UHTHOFF, Beiträge zur Physiologie etc. (Festschrift zu HELMHOLTZ' 70. Geburtstag, S. 115 ff. Zeitschr. für Psychol. Bd. 14, 1897, S. 139.

schreibungen hervor, daß alle Operierte die Eindrücke in räumlicher Ordnung auffaßten und ihre Richtungen unterschieden. Die Verlegenheit oder sogar das Unvermögen die Gestalt der Objekte anzugeben darf in dieser Beziehung nicht irre machen. Der Operierte hat bisher seine Vorstellungen nach den Eindrücken des Tastsinns geordnet. Um eine durch den Gesichtssinn wahrgenommene Form zu bezeichnen, muß er sie also mit der Tastvorstellung vergleichen, sei es durch unmittelbares Betasten, sei es durch Herbeiziehen reproduzierter Tastvorstellungen. Als Beweise für die ursprüngliche Bildung der Gesichtsanschauung durch Erfahrung können daher diese Beobachtungen nicht angeführt werden. Wenn der ältere Empirismus seit LOCKE und BERKELEY von dem Verhalten der Blindgeborenen, nachdem ihnen das Augenlicht gegeben ist, entscheidende Aufschlüsse über das Wesen der Gesichtswahrnehmungen erwartete, so war dies also ein Irrtum, der auf demselben unzulänglichen Begriff der »Erfahrung« beruhte, der eine psychologisch zureichende Lösung der Wahrnehmungsprobleme auf diesem Standpunkte unmöglich machte. Daß die neuere empiristische Theorie ebenfalls diesem Irrtum anheimfiel, ist aus dem gleichen Grunde verständlich. In Wahrheit sind die Beobachtungen an operierten Blindgeborenen eigentlich mehr für die Psychologie des Tastsinns als für die des Gesichtssinns von Bedeutung. Sie zeigen, daß die räumlichen Tastwahrnehmungen, sobald die bei dem Sehenden stets hinzutretenden Gesichtsassoziationen fehlen, trotz ihrer Einordnung in eine in ihren wesentlichen Eigenschaften übereinstimmende räumliche Mannigfaltigkeit, im einzelnen durchaus unvergleichbar den Gesichtswahrnehmungen sind. Anderseits freilich läßt sich die Beobachtung, daß von Geburt an Blinde, deren Netzhaut erregbar geblieben ist, ihre subjektiven Lichtempfindungen irgendwie lokalisieren, ebensowenig im nativistischen Sinne verwerten. Wenn z. B. der Blinde die durch einen Druck auf das Auge entstehende Lichterregung nach der dem Druck gegenüberliegenden Seite verlegt, genau so wie der Sehende, so beweist das nicht, daß die Netzhaut die angeborene Energie besitzt, nasale Reize temporalwärts und temporale nasalwärts zu sehen[1], sondern es beweist nur, daß, insoweit bei solchen Blinden noch Lichtwahrnehmungen möglich sind, diese bei ihnen nach denselben Gesetzen zustande kommen wie bei den Sehenden. Da aber die Blinden mit empfindlicher Netzhaut auch noch über Augenbewegungen und reflektorische Verbindungen der sensorischen und motorischen Apparate des Auges verfügen, so ist nicht einzusehen, warum jene räumliche Beziehung nicht auch bei ihnen ein Produkt des Zusammenwirkens aller dieser Funktionen sein sollte.

c. Die Theorie der komplexen Lokalzeichen.

Die nativistische und die empiristische Theorie der Gesichtswahrnehmungen haben sich uns beide als undurchführbar erwiesen. Die nativistische gerät in einen unheilbaren Widerspruch mit sich selbst, indem sie auf der einen Seite der sogenannten »Erfahrung« unzulässige Zugeständnisse macht, und auf der andern die physiologische Basis, auf die sie sich gestellt, ver-

[1] SCHLODTMANN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 54, 1902, S. 264.

läßt, um in dem abstrakten »Willen«, der »Aufmerksamkeit« oder der »Einbildungskraft« rätselhafte und völlig substratlose Geisteskräfte zu Hilfe zu rufen. Die empiristische Theorie operiert mit einem erkenntnistheoretisch längst unhaltbar gewordenen Erfahrungsbegriff und mit Induktions- oder Analogieschlüssen, in deren Prämissen eigentlich alles das was sie erklären will bereits eingeschlossen ist, um sich endlich mit der Annahme angeborener Begriffe einem extremen Nativismus in die Arme zu werfen. Dabei übersehen beide Theorien eine dritte Möglichkeit: die nämlich, daß die Entstehung einer Wahrnehmung ein psychologischer Vorgang ist, der der eigentlichen Erfahrung vorausgeht, ohne darum in den Empfindungen oder deren physischen Bedingungen an und für sich enthalten zu sein. Gerade diese dritte Möglichkeit ist aber vom psychologischen Standpunkte aus die einzige überhaupt zulässige. Was zwischen der Empfindung und der Erfahrung im eigentlichen Sinne in der Mitte liegt, das eben ist der Vorgang der Wahrnehmung oder Vorstellungsbildung selbst, der der Erfahrung ihre Objekte gibt und sie dadurch erst möglich macht. Darum ist das Unternehmen, die Sinneswahrnehmung aus der Erfahrung ableiten zu wollen, ein Hysteron proteron; ebenso wie das andere, sie lediglich aus physischen Organisationsverhältnissen erklären zu wollen, eine Verwechselung der zu diesen Vorgängen bereitstehenden Hilfsmittel mit den Vorgängen selbst ist. Nicht nativistisch, sondern präempiristisch, nicht empiristisch, sondern genetisch muß daher schließlich eine den psychologischen Forderungen genügende Theorie, und sie muß in dem Sinne ein Ausdruck der Erscheinungen selbst sein, daß sie lediglich die durch die experimentelle Analyse tatsächlich nachgewiesenen Bedingungen derselben zur Geltung bringt. Sind die nativistische wie die empiristische Theorie beide dogmatisch, weil jede mit der in ihrem Namen schon ausgesprochenen Forderung den Tatsachen gegenübertritt, so verhält sich die genetische Theorie kritisch. Abgesehen davon, daß sie die Entwickelung aller unserer Vorstellungen für zugestanden ansieht, betrachtet sie die Frage, inwieweit die Bedingungen dieser Entwickelung auf ursprünglich gegebenen Eigenschaften der psychophysischen Organisation oder auf bestimmten physischen oder psychischen Vorgängen beruhen, von vornherein als eine offene. Dabei kann nun freilich auch eine solche genetische Theorie der hypothetischen Elemente nicht ganz entbehren: sie würde ja nicht Theorie, sondern Tatsache sein, wenn das möglich wäre. Darum mag für die im folgenden darzulegende Theorie eine Bezeichnung gewählt werden, die gerade diesen nicht zu vermeidenden hypothetischen Elementen entlehnt ist: der Name »Theorie der komplexen Lokalzeichen«. Den Begriff des »Lokalzeichens« verstehen wir hier zunächst in seiner allgemeinsten, von jeder besonderen Theorie unabhängigen

Bedeutung, in welcher er lediglich auf irgendein Datum für unser Bewußtsein hinweist, das bei der Lokalisation eines Eindrucks wirksam ist. In dieser allgemeinen Verwendbarkeit des Begriffs besteht das Verdienst, das sich LOTZE durch die Einführung desselben erworben hat[1]. Die Frage, durch die LOTZE selbst zu ihm geführt wurde, war freilich eine wesentlich metaphysische. Das Lokalzeichen war ihm ein Hilfsbegriff, durch den verständlich gemacht werden sollte, daß die Seele, obgleich sie selbst ein unräumliches »einfaches Wesen« sei, doch ihre Empfindungen extensiv ordne. Dazu bedarf sie nach LOTZEs Meinung physiologischer Hilfsmittel, und diese waren ihm die »Lokalzeichen«, während er die Fähigkeit zur Raumanschauung selbst als eine nicht weiter abzuleitende Eigenschaft der Seele betrachtete.

Im Gegensatze zu dieser metaphysischen Anwendung des Lokalzeichenbegriffs sucht nun die »Theorie der komplexen Lokalzeichen« zunächst lediglich die Tatsache zum Ausdruck zu bringen, daß das Sehorgan Empfindungs- und Bewegungsorgan zugleich ist. Sie betrachtet daher die Gesichtswahrnehmung durchaus als ein gemeinsames Produkt dieser beiden Funktionsrichtungen, des »Netzhautbildes« und des »Bewegungsbildes«. Demnach setzen wir einerseits qualitative Unterschiede der Netzhautempfindungen, die vom Ort des Eindrucks abhängen, und anderseits intensive Gradabstufungen der die Bewegungen und Stellungen des Auges begleitenden Spannungsempfindungen voraus, die beide infolge der Reflexbeziehungen aller Netzhauterregungen zum Netzhautzentrum in gesetzmäßiger Verbindung stehen. Von diesen beiden Bestandteilen des Lokalzeichensystems kann der eine, die »Spannungs«- oder »inneren Tastempfindungen« des Augapfels, als hinreichend sichergestellt durch die Konvergenzversuche gelten (S. 635 f.). Mit den qualitativen Lokalzeichen der Netzhaut aber wird man wohl die in größeren Abständen nachweisbaren lokalen Unterschiede der Empfindung in Verbindung bringen können (Kap. X, S. 185). Sind gleich diese Unterschiede verhältnismäßig geringfügig, so werden wir doch dabei die Tatsache mit in Rechnung ziehen dürfen, daß überhaupt kleine Unterschiede der Empfindung nicht unmittelbar als solche, sondern erst durch ihre Vorstellungsverbindungen einen Wert für das Bewußtsein gewinnen. Wenn wir z. B. eine einfarbige Fläche betrachten, so erscheint sie uns in allen ihren Teilen gleich; erst bei der Vergleichung getrennter Objekte von übereinstimmender Farbe im direkten und indirekten Sehen überzeugen wir uns von der verschiedenen lokalen Färbung der Empfindungen. Schließt sich nach allem dem die Theorie der komplexen Lokalzeichen

[1] LOTZE, Medic. Psychol., 1852, S. 331.

unmittelbar an Tatsachen der Erfahrung an, so sind auf der andern Seite jene Widersprüche, in die sich die Annahme einfacher Lokalzeichen verwickelt, für sie nicht vorhanden. Wären z. B., wie LOTZE annahm, die »Bewegungstendenzen« des Auges die ausschließlich wirksamen Motive, so könnten zwischen den Wahrnehmungen bei bewegtem und jenen bei festgehaltenem Blick niemals Unterschiede eintreten. In Wahrheit sind aber solche bei zahlreichen Täuschungen des Augenmaßes nachzuweisen, indem entweder gewisse Täuschungen nur bei starrer Fixation auftreten, wie die konstante Täuschung über die Richtungslinien im indirekten Sehen (S. 570), oder indem sich umgekehrt die bei der Bewegung hervortretenden Strecken- und Richtungstäuschungen bei der Fixation vermindern, weil sie durch die perspektivische Anpassung an das Netzhautbild kompensiert werden, wie die variabeln Täuschungen (S. 580 ff.). Dagegen werden alle diese Erscheinungen erklärlich, wenn wir annehmen, daß sich die extensiven Vorstellungen für das ruhende Auge durch Lokalzeichen fixieren, die an die Netzhautempfindungen gebunden sind. Denn nun muß notwendig auch das unmittelbare Lageverhältnis der Netzhautpunkte einen Einfluß gewinnen, der sich namentlich bei fixierendem Blick wegen der genaueren simultanen Vergleichung der Netzhautstrecken geltend macht. Ebenso sind diese Tatsachen mit der von der empiristischen Theorie gemachten Annahme unvereinbar, daß die Bewegungen und die in der Netzhaut fixierten Lokalzeichen unabhängig voneinander extensive Vorstellungen vermitteln könnten. Denn wäre dies richtig, so müßten diejenigen Täuschungen, die von den Bewegungsgesetzen herrühren, verschwinden, sobald die Bewegung ausgeschlossen ist. Der Umstand, daß dies nicht zutrifft, sondern daß gerade bei starr fixierendem Blick die Einflüsse des Netzhautbildes und der Bewegungen in ihrer kombinierten Wirkung an den nun deutlich hervortretenden perspektivischen Erscheinungen zu erkennen sind, weist zwingend darauf hin, daß die extensive Vorstellung eine Funktion ist, die aus der assoziativen Verschmelzung von Spannungsempfindungen und lokalen Empfindungen hervorgeht, und von denen die ersteren bei ruhendem Auge teils als Bewegungsintentionen teils als reproduktive Elemente wirken. Nun werden freilich nicht alle geometrisch-optischen Täuschungen, die in den Bewegungsgesetzen des Auges ihren Grund haben, durch perspektivische Vorstellungen bei der Fixation kompensiert. In diesen Fällen zeigt es sich jedoch stets, daß vermöge der obwaltenden Bedingungen die Bewegungsgesetze selbst an der festen Ordnung der Lokalzeichen beteiligt sind, so daß sich eben hierdurch diese Täuschungen als konstante von den variabeln unterscheiden, während anderseits auch hier in dem Einfluß bekannter Objekte von ähnlicher Form reproduktive

und assoziative Wirkungen nachweisbar sind (S. 592). Die allgemeine Bedingung zur Entstehung solcher konstanten Täuschungen ist demnach, daß »Bewegungsbild« und »Netzhautbild« niemals miteinander in Widerstreit geraten dürfen. So entspricht z. B. die konstante Täuschung, daß wir bei monokularer Beobachtung die Lage einer vertikalen Linie unrichtig bestimmen, der ungezwungenen Bewegungsrichtung des Auges bei Auf- und Abwärtsbewegung (S. 595). Infolge dieser Abweichung der Bewegungsrichtung werden dann die Lokalzeichen a', b', c', d' . . ., die in einem zur Vertikalen geneigten Netzhautmeridian liegen, während der Bewegung auf die Vertikale bezogen, usw.

Die Theorie der komplexen Lokalzeichen läßt demnach völlig dahingestellt, ob die Seele selbst unräumlich oder räumlich sei, und ebenso lehnt sie es ab, den Ursprung der räumlichen Ordnung dem Tastsinn oder einer angeborenen Kausalfunktion zuzuweisen. Vielmehr betrachtet sie lediglich dies als ihre Aufgabe: die empirisch nachweisbaren Motive jener Ordnung in ihre Empfindungselemente zu zerlegen und über die gesetzmäßigen Verbindungen dieser Elemente Voraussetzungen zu machen, die durch die tatsächlich nachweisbaren Funktionsverhältnisse des Sehorgans gefordert werden. Nun ist die Form, die wir dem Sehfelde geben, die Richtung und Lage der einzelnen Objekte in ihm sowie die Abmessung seiner Dimensionen abhängig von den Bewegungen des Auges, und dieser Einfluß der Bewegungen bleibt auch für das ruhende Auge bestehen. Denn im ganzen bildet dieses seine Vorstellungen gemäß den Bewegungsgesetzen. Die Erfahrungen am Tastorgan lehren aber, daß die Muskelempfindungen wahrscheinlich nur die Vorstellung von der Kraft der Bewegung vermitteln, und daß sie schon auf die Vorstellung vom Umfang derselben bloß von mitbestimmendem Einflusse sind, während wir die Lage des tastenden Gliedes und die Richtung, in der dasselbe bewegt wird, namentlich mittels der Gelenkempfindungen auffassen (Kap. X, S. 40). Übertragen wir dies auf das Auge, so wird anzunehmen sein, daß sich mit der Muskelempfindung, die ein gegebener Netzhauteindruck im indirekten Sehfelde infolge der Reflexverbindung des gereizten Punktes mit dem Netzhautzentrum wachruft, immer zugleich die an die Bewegung des Auges gebundene, hier den Gelenkempfindungen äquivalente Tastempfindung reproduziert, die von dem Druck auf die sensibeln Teile der Orbita herrührt. Die Unsicherheit der reproduzierten Empfindung im Vergleich mit dem unmittelbaren Eindruck erklärt die Ungenauigkeit der Größenabmessung bei ruhendem Auge, die geringere Stärke derselben begründet die Neigung, die Dimensionen des Sehfeldes und die Größe eines Reliefs kleiner zu schätzen als bei der Bewegung. Mit der stärkeren Muskelempfindung ist im allge-

meinen eine größere Lageabweichung des Augapfels verbunden. So begreift es sich, daß, wenn infolge einer Parese eine gegebene Bewegung erschwert ist, die Lageänderung des Auges und die Ausdehnung in der betreffenden Richtung überschätzt wird. Aber da bei wirklich ausgeführter Bewegung die Tastempfindungen sich allmählich der verschobenen Skala der Muskelempfindungen wieder anpassen, so ist anderseits die Ausgleichung solcher Störungen verständlich. Bilden die Druckempfindungen im Innern des Auges, wie jene Analogie mit den Gelenkempfindungen annehmen läßt, nicht sowohl Bestandteile des intensiven, als vielmehr ergänzende Elemente des qualitativen Lokalzeichensystems der Netzhaut, so sind sie es wahrscheinlich, die an der Auffassung der Richtungen des Sehens, sowie an der binokularen Synergie der Empfindungen beteiligt sind. Diese inneren Tastempfindungen des Auges zeigen in der Tat charakteristische Unterschiede je nach der Richtung, in der das einzelne Auge, oder je nachdem das rechte oder linke Auge bewegt wird. Es ist daher wahrscheinlich, daß auch bei Eindrücken auf das ruhende Doppelauge die Beziehung der Bildunterschiede auf die Tiefeneigenschaften der Objekte mittels der Lokalzeichen des Tastsinns zustande kommt, wobei wir uns, wie überall bei solchen Verschmelzungen, nicht der subjektiven Unterschiede selbst, sondern nur der objektiven Eigenschaften, deren Wirkungen sie sind, bewußt werden. Das nämliche gilt von der Richtung, die wir den Konturen im Sehfelde anweisen, insbesondere also auch von der Tatsache, daß wir die Objekte aufrecht sehen, gemäß ihrer wirklichen Lage im Raume, nicht verkehrt, wie das Netzhautbild sie darstellt. Indem wir den Gegenstand von seinem oberen bis zu seinem unteren Ende mit dem Blick verfolgen, bildet sich die Vorstellung, daß sein oberes Ende unserm Kopf, sein unteres unseren Füßen in seiner Lage entspricht.

Statt die umgekehrte Lage des Netzhautbildes mit der durch die Augenbewegungen vermittelten Vorstellung von der Lage unseres eigenen Körpers und seiner Teile in unmittelbarer Übereinstimmung zu finden, pflegte hier besonders die empiristische Theorie eine Art erziehenden Einflusses anzunehmen, den der Tastsinn, dessen Funktionen man sich ohnehin denen des Gesichtssinns vorausgehend dachte, auf diesen ausüben sollte. Für die Projektion des Netzhautbildes in den äußeren Raum sollten demnach lediglich die Tasteindrücke und Tastbewegungen maßgebend sein, während das Netzhautbild, dessen Lage wir ja erst aus der Optik kennen lernen, an sich überhaupt ohne Einfluß sei, so daß selbst dann, wenn es aufrecht und nicht verkehrt wäre, seine richtige Orientierung im Raum zustande kommen müßte. In Wahrheit zerlegt sich jedoch die Zuordnung des Gesichtsbildes zu unsern übrigen Raumvor-

stellungen, insbesondere zu denen des Tastsinns, in zwei Faktoren, nämlich erstens in die unmittelbare anschauliche Orientierung jenes Bildes zu unserem eigenen Körper, und zweitens in seine praktische Anpassung an unsere Tastbewegungen. Über das Verhältnis, in welchem diese beiden Faktoren, die sich in dem sogenannten »Problem des Aufrechtsehens« begegnen, zueinander stehen, geben nun Versuche, die M. STRATTON an sich selbst über die Wirkungen einer länger andauernden Inversion des Netzhautbildes ausführte, interessante Aufschlüsse[1]. STRATTON trug während sieben aufeinanderfolgender Tage vor dem linken Auge den ganzen Tag über eine Binde, die es vom Sehakte ausschloß, und vor dem rechten eine bildumkehrende Linsenkombination, wobei zugleich seitlich eindringende Lichtstrahlen von diesem Auge durch eine enganschließende Röhre abgehalten waren. Das so übrig bleibende Gesichtsfeld von etwa 45 Grad wurde demnach durch ein aufrecht stehendes Netzhautbild beherrscht, und die Gegenstände wurden nun nicht bloß verkehrt gesehen, sondern auch alle nach den gesehenen Objekten orientierten Greifbewegungen wurden natürlich zunächst verkehrt ausgeführt. Durch die fortwährende Korrektur dieser Bewegungen gelang es aber nicht bloß, sie allmählich den verkehrten Gesichtseindrücken anzupassen, sondern schließlich sogar eine gewohnheitsmäßige neue Zuordnung zustande zu bringen, so daß sofort ohne besondere Reflexion die richtigen Bewegungen ausgeführt wurden. Was dabei begreiflicher Weise nicht gelang, war jedoch eine Umkehrung des Lageverhältnisses zwischen dem Gesichtsbild und der Vorstellung von der Lage des eigenen Körpers. Kopf und Füße eines gesehenen Menschen wurden also fortan im Verhältnis zur Lage des Kopfes und der Füße des eigenen Körpers verkehrt aufgefaßt. Hieraus geht klar hervor, daß es nicht die Tastbewegungen sein können, welche die Zuordnung des Netzhautbildes zu der wirklichen Lage der Objekte vermitteln, wenn auch natürlich unter normalen Verhältnissen beide Sinnesfunktionen miteinander übereinstimmen. Denn gerade von dieser normalen Übereinstimmung mit der Tastwahrnehmung kann sich das Gesichtsfeld insofern bis zu einem gewissen Grade lösen, als hier eine für alle praktischen Zwecke zureichende umgekehrte Zuordnung eintreten kann. Dagegen ist, wie aus STRATTONS Schilderung hervorgeht, eine Zuordnung des in seiner Lage vertauschten Netzhautbildes zum Tastbild des eigenen Körpers niemals möglich, wie denn ja auch eine solche mit den früher erwähnten neuen Zuordnungen infolge von Metamorphopsien (S. 543) oder von Schielstörungen (S. 658) durchaus nicht auf gleiche Linie zu stellen sein würde. Bei diesen können die neuen

[1] M. STRATTON, Psych. Rev. vol. 4, 1897, p. 341 ff., 463 ff.

Anpassungen stetig und allmählich erfolgen, wie dies denn auch die Beobachtung tatsächlich bestätigt. Zwischen der Vorstellung, daß ein Gegenstand verkehrt, und der, daß er aufrecht stehe, ist aber kein stetiger Übergang möglich und selbstverständlich auch ein sprungweiser nie zu beobachten. In der Tat würde jedoch ein solcher Vorgang, da hier von einem Durchgang durch irgendwelche Zwischenlagen keine Rede sein kann, immer nur als ein plötzlicher, gewissermaßen revolutionärer Akt unseres Sehens denkbar sein. Wenn trotzdem die Beobachtungen STRATTONs bisweilen so aufgefaßt worden sind, so beruht daher dies offenbar auf einer Verwechslung jener praktischen Anpassung an das neue Gesichtsbild mit einer Umwandlung dieses Gesichtsbildes selbst.

So ist denn die Gesichtsvorstellung im wesentlichen auf denselben Prozeß zurückzuführen wie die räumliche Tastvorstellung (Kap. XIII, S. 517 ff.). Die Netzhautempfindungen samt ihren Lokalzeichen verschmelzen mit den Spannungsempfindungen des Bewegungsapparats zu untrennbaren Komplexen. Was aber die Gesichtsvorstellungen auszeichnet, ist die Beziehung jener Empfindungskomplexe auf einen einzigen Punkt, das Netzhautzentrum. Dieses Verhältnis zum Blickpunkt, das auch die funktionelle Verbindung der beiden Augen zum Doppelauge erst möglich macht, wurzelt in den Bewegungsgesetzen, unter denen namentlich das Gesetz der Korrespondenz von Apperzeption und Fixation hier von entscheidender Bedeutung ist (S. 562).

Insofern nun die Bewegungsgesetze in einem angeborenen zentralen Mechanismus präformiert sind, bringt das Individuum zweifellos eine vollständig entwickelte Disposition zur unmittelbaren räumlichen Ordnung seiner Lichtempfindungen in die Welt mit. Mag aber darum auch die Zeit, die zwischen der Einwirkung der Netzhauteindrücke auf das Auge und der Bildung einer Vorstellung verfließt, unter Umständen sehr kurz sein, so kann doch die Vorstellung selbst erst durch einen bestimmten psychischen Vorgang verwirklicht werden. Für das Stattfinden eines solchen treten zudem alle jene Tatsachen überzeugend ein, die gewisse erst infolge der individuellen Funktion aktuell werdende Empfindungen als die bestimmenden Momente der Gesichtsvorstellungen erweisen. Der Prozeß, durch den sich hier aus den Empfindungen die Vorstellungen entwickeln, kann aber wiederum als eine Verschmelzung bezeichnet werden, weil das entstehende Produkt Eigenschaften zeigt, die in dem sinnlichen Material, das zu seiner Bildung verwandt wurde, nicht unmittelbar enthalten sind. Diese Verschmelzung enthält qualitativ veränderliche periphere Sinnesempfindungen und intensiv abgestufte Spannungsempfindungen als ihre Bestandteile. Da jedes Auge nach zwei Hauptrichtungen gedreht werden kann (Hebung und Senkung, Außen-

und Innenwendung), zwischen denen alle möglichen Übergänge stattfinden, jeder Stellung aber ein bestimmter Komplex von Druckempfindungen in der Orbita und von Lokalzeichen der Netzhaut entspricht, so bilden diese zusammen ein qualitatives Lokalzeichensystem von zwei Dimensionen. Diese Dimensionen sind ungleichartig, weil sich nach jeder Richtung die Lokalzeichen wie die Druckempfindungen in abweichender Weise ändern. Indem nun die an die Bewegung und an ihre Reproduktionen im ruhenden Auge gebundenen Spannungsempfindungen, die ein intensives Kontinuum von einer Dimension bilden, jenes ungleichartige Kontinuum nach allen Richtungen ausmessen, führen sie dasselbe auf ein gleichartiges Kontinuum von zwei Dimensionen, auf eine Raumoberfläche zurück. So entsteht das monokulare Sehfeld, als dessen Hauptpunkt vermöge der Beziehung der Spannungsempfindungen und Lokalzeichen auf das Netzhautzentrum der Blickpunkt erscheint, und dessen allgemeinste Form wegen der Verschiebungen des Blickpunktes bei der Bewegung die um den Drehpunkt des Auges gelegte Kugeloberfläche ist. Dabei ist die Entfernung des Blickpunktes vom Sehenden, also der Halbmesser des kugelförmigen Sehfeldes, im monokularen Sehen nur durch den jeweiligen Akkommodationszustand einigermaßen begrenzt. Eine festere Bestimmung erfolgt erst binokular mittels der Konvergenzempfindungen. Als allgemeinste Form des Sehfeldes kann hier wieder eine Kugeloberfläche angesehen werden, deren Zentrum dem Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen den Drehpunkten beider Augen entspricht. Zugleich wird aber die Form des Sehfeldes eine wechselndere, indem der gemeinsame Blickpunkt Oberflächen von der verschiedensten Form durchwandern kann. Demnach wird auch die Verbindung der Lokalzeichensysteme beider Augen mit den Spannungsempfindungen des Doppelauges eine variable. So kann z. B. ein Lokalzeichen a des rechten Auges mit einem Zeichen a' des linken sich verbinden, die beide einem Punkt 10° nach links vom Blickpunkt entsprechen. An diese Verbindung $a\,a'$ wird dann eine Spannungsempfindung des Doppelauges von 10° geknüpft sein. Es kann sich aber auch das Zeichen a etwa mit einem andern a'' verbinden, das einem nur um 5° links gelegenen Punkte zugehört: dann wird der Verbindung $a\,a''$ eine andere Spannungsempfindung entsprechen, die aus Linkswendung und Konvergenz zusammengesetzt ist. Bezeichnen wir den Abstand eines jeden Netzhautpunktes vom Netzhauthorizont als Höhenabstand, den vom vertikalen Netzhautmeridian als Breitenabstand, so sind demnach im allgemeinen nur die Lokalzeichen von Punkten, die gleichen Höhenabstand haben, einander zugeordnet; dagegen können die Breitenabstände derjenigen Punkte, deren Lokalzeichen sich verbinden, wechseln, und jedesmal verändert sich damit

auch die Spannungsempfindung des Doppelauges. Welche Verbindung wirklich stattfindet, darüber entscheidet zunächst der Lauf der Fixationslinien (S. 648 ff.). Es werden also diejenigen Punkte einander zugeordnet, die objektiv zu zusammengehörigen Fixationslinien gehören, während sich überdies die Lokalzeichen jener Punkte, die der gewöhnlichen Form des Sehfeldes entsprechen, leichter als andere verbinden. Demnach handelt es sich hier um eine kompliziertere Verschmelzung. Wir können uns dieselbe in zwei Akte zerlegt denken: in einen ersten, durch den mittels Lokalzeichen und Spannungsempfindung des ersten Auges die Lage eines gegebenen Punktes a im Verhältnis zum Blickpunkt, und in einen zweiten, durch den beim Hinzutritt des zweiten Auges die Lage des Blickpunktes sowohl wie des Punktes a im Verhältnis zum Sehenden festgestellt wird. Denken wir uns das monokulare Sehfeld als eine Ebene, so können nun durch den Hinzutritt des zweiten Auges beliebige Teile des Sehfeldes aus der Ebene heraustreten. Diese geht in eine anders geformte, nach den speziellen Bedingungen des Sehens wechselnde Oberfläche über. Denn geometrisch ist im monokularen Sehen nur eine einzige Oberfläche möglich, weil sich mit den nach zwei Dimensionen geordneten Lokalzeichen die Spannungsempfindungen nur eindeutig verbinden lassen. Als binokulares Sehfeld ist dagegen eine beliebig gestaltete Oberfläche denkbar, weil sich mit den Elementen, die das eine Auge zur Messung liefert, diejenigen des andern in variabler, also vieldeutiger Weise verbinden können. Denken wir uns, um dies durch ein Gleichnis zu versinnlichen, einen festen Punkt und eine Gerade gegeben, die, von dem Punkt ausgehend, in jede beliebige Richtung gebracht werden kann, so läßt sich mit diesen zwei Elementen nur eine einfache Oberfläche konstruieren, nämlich eine Kugeloberfläche oder, wenn die Gerade unendlich groß ist, eine Ebene. Denken wir uns dagegen zwei feste Punkte und zwei von denselben ausgehende Gerade von kontinuierlich veränderlicher Richtung gegeben, deren Schnittpunkte eine Oberfläche bilden sollen, so läßt sich mit diesen vier Elementen eine Oberfläche von beliebiger Gestalt gewinnen. In der Tat entspricht dieses Gleichnis den Verhältnissen am Auge. Nur werden hier die Richtungen der erzeugenden Geraden, der Blicklinien, selbst erst mittels der Lokalzeichen und Spannungsempfindungen festgestellt. Vermöge der Bewegungsgesetze des Auges sind ferner diejenigen Richtungen des Sehens bevorzugt, für welche die Auffassungen des ruhenden und des bewegten Auges übereinstimmen. Dies sind die durch den Blickpunkt gehenden Richtlinien (S. 567 ff.), die in dem kugelförmigen Blickfeld als größte Kreise, in kleineren Strecken des Sehfeldes als gerade Linien erscheinen. Da nun bei der Ausmessung der Distanzen immer nur solche kleinere Strecken benutzt werden, so ist die

Gerade für das Auge das natürliche Messungselement. Die Beschaffenheit der Richtlinien hat aber ihren physiologischen Grund in der Eigenschaft unserer Muskeln, ihre Ansatzpunkte um feste Achsen zu drehen, woraus auch die ebene Beschaffenheit des Tastraumes hervorgeht. Darum ist der Gesichtsraum gleichfalls ein ebener Raum, in welchem zur Konstruktion der Sehfeldfläche drei Dimensionen erfordert werden.

Unbestimmt bleibt hierbei zunächst nur noch der den Lokalzeichen der beiden Netzhautmitten entsprechende Punkt im Raum, der Fixierpunkt, der, da alle Tiefenwahrnehmung in Beziehung auf ihn relativ ist, die Bedeutung eines absoluten Orientierungspunktes besitzen muß. Diese Bedeutung wird allerdings dadurch wesentlich eingeschränkt, daß innerhalb solcher Gesichtswahrnehmungen, die nur den Konvergenzpunkt und ein beschränktes Sehfeld um denselben enthalten, die Tiefenlage dieses Punktes zu einer unbestimmten wird und nur sekundär, durch reproduktive Elemente früherer Wahrnehmungen, allmählich eine nähere Bestimmung gewinnen kann. Diese Unsicherheit hört aber auf, sobald der Sehende selbst mit Teilen seines Leibes zu einem Bestandteil des Gesichtsfeldes wird. Dann wird nämlich die Tiefenlage des Orientierungspunktes zu einer unmittelbar wahrgenommenen. Denn sie ergibt sich nun aus dem nämlichen komplexen Lokalzeichensystem der Tiefe, das allen andern Punkten des Sehfeldes ihre Lage zum Orientierungspunkt anweist. Dieser selbst ist daher jetzt durch seine Beziehung zum Sehenden orientiert. Der Ort des Sehenden, der übrigens je nach den besonderen Bedingungen der Wahrnehmung wieder eine verschiedene Stelle im Körper einnehmen kann, ist auf diese Weise der letzte Orientierungspunkt für alle räumlichen Vorstellungen, mögen sie nun durch den Gesichts- oder Tastsinn oder durch beide zusammen entstehen. Ist es der Gesichtssinn allein, der die Wahrnehmung vermittelt, so bildet, so lange die normale binokulare Synergie besteht, der Mittelpunkt der die Visierlinien beider Augen verbindenden Basaldistanz den Orientierungspunkt. Bei einäugigem Sehen oder bei gestörter Synergie rückt er in die Gesichtslinie des dominierenden Auges. Wirkt der Tastsinn bei der Lokalisation mit, oder bestimmt er dieselbe ausschließlich, so nimmt endlich der absolute Orientierungspunkt andere, von den besonderen Bedingungen abhängige Lagen an, die mit den im vorigen Kapitel erörterten Orientierungsmomenten des Tastsinns zusammenhängen (vgl. oben S. 497 ff.).

Das entwickelte Lokalzeichensystem ist zunächst ein monokulares. Die durchweg aus qualitativ verschiedenen Elementen bestehenden Systeme der Netzhautlokalzeichen beider Augen einerseits und die Synergie der binokularen Augenbewegungen anderseits bewirken nun aber weiterhin, daß sich bei der Funktion des Doppelauges die monokularen kom-

plexen Lokalzeichenreihen zu noch zusammengesetzteren binokularen Reihen verbinden. Indem sich diese um die beiden durch die Synergie der Augenbewegungen ebenso wie durch die Anordnung der zwei festen Lokalzeichensysteme der Netzhäute einander zugeordneten Elemente der beiden Netzhautzentren oder der Fixierpunkte gruppieren, bildet sich so ein komplexes Lokalzeichensystem zweiter Ordnung, dessen einzelne Glieder die Bedeutung von Lokalzeichen der Tiefe gewinnen. Dabei ist für die letzteren das aus dem Gesetz der übereinstimmenden Höhenstellung bei den Augenbewegungen entspringende Prinzip maßgebend, daß die Lokalzeichensysteme beider Augen einander für gleiche Höhenabstände konstant, für gleiche Breitenabstände aber variabel zugeordnet sind. Die Lokalzeichen der Tiefe lassen sich daher auch als Verbindungen der beiden monokularen Systeme definieren, deren Raumwerte sich je nach der Richtung der zwischen den monokularen Systemen vorhandenen Breiteverschiebungen verändern.

Neben denjenigen Elementen, welche die ursprüngliche Verschmelzung der Empfindungen erzeugen, sehen wir endlich die Gesichtsvorstellung noch von einer Reihe anderer Einflüsse abhängig, die sich schon durch ihren späteren Eintritt im Laufe des Lebens sowie durch größere Wandelbarkeit als Bestimmungsgründe sekundärer Art verraten. Hierher gehören die Einflüsse der Perspektive und Luftperspektive, zufällig oder absichtlich wachgerufener Vorstellungen u. dergl. In allen diesen Fällen handelt es sich um eine Veränderung der Vorstellung durch losere und darum wechselndere Assoziationen. Aber auch hier sind, wie oben eingehend nachgewiesen wurde, als primäre Faktoren stets zugleich die Momente der Bewegung des Auges und der Ordnung der Netzhautelemente wirksam, so daß die Vorstellung wiederum ein eindeutiges und notwendiges Produkt ihrer Elemente ist.

Den oben entwickelten Voraussetzungen der Theorie der komplexen Lokalzeichen läßt sich eine exaktere und zugleich einfachere Form geben, wenn man hier die von H. Grassmann in die mathematische Mannigfaltigkeitslehre eingeführte Symbolik verwertet[1]. Gehen wir demnach von der Zerlegbarkeit des komplexen Lokalzeichensystems in zwei einfache Systeme aus, so ist das erste dieser Komponentensysteme als ein in der Netzhaut festes vorauszusetzen. Denken wir uns daher um das Zentrum derselben als Mittelpunkt konzentrische Kreise gezogen, so mögen diese festen Lokalzeichen einer Reihe von Punkten auf einem ersten Kreise mit $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \ldots$, auf einem zweiten mit $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 \ldots$ bezeichnet werden, usw. Hierbei wird eine stetige Veränderung sowohl von α_1 nach $\beta_1, \gamma_1 \ldots$ wie von α_1 nach α_2, α_3 usw. vorausgesetzt, so daß sämtliche Lokalzeichen ein Kontinuum

[1] H. Grassmann, Ausdehnungslehre von 1844. [2] 1878, S. 19 ff.

von zwei Dimensionen bilden. Von einer besonderen Bezeichnung der inneren Druckempfindungen des Auges sehen wir hierbei ab, da sie als ergänzende Elemente der lokalen Färbungen der Netzhautempfindungen diesen primären Lokalzeichen zugerechnet werden können (S. 721). Von dem zweiten Komponentensystem nehmen wir an, daß es stetig veränderlich mit der Bewegung des Auges sei, aber bei ruhendem Auge durch reproduktive Elemente wirksam werde. Es wird ferner vorausgesetzt, daß sich dieses System nur in einer Richtung verändere, indem der Bewegung des Netzhautzentrums nach irgendeinem Punkt der Reihe $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ... ein Zeichen x_1, ebenso nach einem der Reihe $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ... ein solches x_2 entspreche, usw. Die Lokalzeichen des zweiten Systems bilden so ein Kontinuum von einer Dimension. Beide Systeme werden aber bezogen auf das Netzhautzentrum, das die Lokalzeichen μ und x besitzen möge, wobei man unter x diejenige Spannungsempfindung verstehen kann, die der jedesmal vorhandenen Stellung des Auges entspricht. Findet nun, während das Auge in irgendeiner Stellung fixiert ist, ein gleichförmig über die Netzhaut verbreiteter Lichteindruck r statt, so würde derselbe, wie wir voraussetzen, ohne das Vorhandensein des komplexen Lokalzeichensystems eine Empfindung e verursachen, die weder lokalisiert noch in extensiver Form vorgestellt würde. Durch die Lokalzeichensysteme wird jedoch die Empfindung für jeden Punkt der Netzhaut ein komplexes Produkt aus drei Elementen. Der Netzhautmitte entspricht das Produkt $e\mu x$, und um die Netzhautmitte bilden die Produkte

$$e\alpha_1 x_1, \quad e\alpha_2 x_1, \quad e\alpha_3 x_1, \quad e\alpha_4 x_1 \quad \ldots$$
$$e\beta_1 x_2, \quad e\beta_2 x_2, \quad e\beta_3 x_2, \quad e\beta_4 x_2 \quad \ldots \text{ usw.}$$

Empfindungsreihen, zwischen denen und deren einzelnen Gliedern eine stetige Abstufung der Empfindung stattfindet. Da das Auge fixiert gedacht ist, so wird x in dem Produkte $e\mu x$ unmittelbar empfunden, während x_1, x_2, x_3 ... bloß reproduktiv in die Produkte $e\alpha_1 x_1$, $e\beta_1 x_1$ ... eingehen. Sollen x_1, x_2, x_3 ... unmittelbar empfunden werden, so muß sich das Auge bewegen. Hierbei sind dann aber in $e\alpha_1 x_1$, $e\beta_1 x_1$ ... die beiden Lokalzeichenelemente, so lange die Bewegung dauert, stetig veränderlich. Denn wenn der Blickpunkt des Auges am Ende der Bewegung auf denjenigen Punkt eingestellt ist, der vor dem Beginn derselben dem Lokalzeichen α_1 entsprach, so hat während der Bewegung das erste Lokalzeichen alle Werte von α_1 bis μ und das zweite alle Werte von x bis x_1 durchlaufen, und in der neu gewonnenen Stellung entspricht der Erregung der Netzhautmitte nicht mehr die Empfindung $e\mu x$, sondern $e\mu x_1$. Demnach unterscheiden sich die Lokalzeichen der Netzhautmitte dadurch, daß alle ihre Elemente, so lange das Auge fixiert bleibt, unmittelbar empfunden werden und dauernd sind, während von den übrigen die der x-Reihe angehörenden Elemente bloß dann unmittelbar empfunden werden, wenn sich das Auge bewegt, wobei sie sich aber in diesem Falle zugleich stetig während der ganzen Dauer der Bewegung verändern. Faßt man dann weiterhin eine stetige lineare Strecke von gleichförmiger Richtung als das Produkt ihrer beiden Endpunkte auf, ähnlich wie ein Rechteck als das Produkt der zwei dasselbe als Grundlinie und Höhe begrenzenden geradlinigen Strecken. so ist das Produkt $e\mu x \cdot e\varphi_n x_n$ äquivalent der Punktreihe

$$e\mu x + e\alpha_n x_1 + e\beta_n x_2 + e\gamma\ x_3 \ldots + e\varphi_n x_n$$

samt allen Punkten, die zwischen zwei aufeinander folgenden Gliedern angenommen werden können, wenn wir uns alle diese Punkte additiv verbunden denken. Wird die nach einer dazu senkrechten Richtung vom Mittelpunkt des Sehfeldes aus gemessene lineare Strecke durch das Produkt $e\mu x \,.\, e\varphi_r x_n$ bezeichnet, so stellt demnach, wenn wir beide lineare Strecken als sehr klein voraussetzen, $e\mu x \,.\, e\varphi_n x_n \,.\, e\varphi_r x_n$ ein Flächenelement dar, und eine ausgedehnte extensive Vorstellung wird durch eine Summe solcher Produkte, also symbolisch durch

$$e \,.\, \sum \mu x \,.\, \varphi_n x_n \,.\, \varphi_r x_n$$

ausgedrückt werden können, wobei das Summenzeichen die Bedeutung hat, daß eine stetige Reihe von Produkten von der angegebenen allgemeinen Form additiv verbunden werde.

Beim Übergang vom monokularen zum binokularen Sehen verbindet sich nun das so definierte Empfindungsprodukt mit dem ihm entsprechenden des zweiten Auges. Indem sich aber dabei die binokularen Komplexreihen um die beiden einander zugeordneten Elemente μ_0 und γ_λ des festen Lokalzeichensystems, die den Netzhautmitten zugehören, gruppieren, bildet sich das Lokalzeichensystem zweiter Ordnung, dessen einzelne Glieder die Lokalzeichen der Tiefe sind. Hierbei lassen sich nun diese wieder als Produkte der beiden monokularen Systeme im Sinne der geometrischen Multiplikation definieren, während zugleich die Bedingung besteht, daß die Höhenverschiebungen für beide Systeme stets die gleichen Werte besitzen. Es hängen dann die Lokalzeichen der Tiefe nur noch mit den Breiteverschiebungen zusammen, die gegeneinander in jeder Richtung variierbar sind. Diese auf die Netzhautmitten als Nullpunkte bezogenen Verschiebungen der komplexen Lokalzeichenreihen können daher, wenn wir die äußeren (temporalen) Teile der dem Netzhauthorizont parallelen Meridiane als positiv, die inneren (nasalen) als negativ bezeichnen, beide positiv oder negativ oder aber die eine positiv und die andere negativ, und alles dies wieder in gleicher oder abweichender Größe sein. Diesen variabeln Breiteverschiebungen der komplexen Lokalzeichen entsprechen dann die zugehörigen Raumwerte in dem Sinne, daß positive Verschiebungen Nahewerte, negative Fernewerte in bezug auf den dem Produkt $\mu_0 \gamma_0 \,.\, \mu_\lambda x_\lambda$ entsprechenden Fixationspunkt bedeuten.

In der geschichtlichen Entwickelung der Theorien des räumlichen Sehens ist die klare Scheidung der gegenwärtig mit den Namen der nativistischen und empiristischen Theorie bezeichneten Anschauungen nur allmählich eingetreten. In der älteren Physiologie und Psychologie werden durchgängig gewisse Eigenschaften der Gesichtsvorstellung, wie die räumliche Ordnung der Empfindungen überhaupt, die Wahrnehmung der Richtung der Objekte, als angeborene, andere, wie die Auffassung der Entfernung und Größe, als durch Erfahrung erworben betrachtet. Es hängt dies mit der schon von CARTESIUS[1] sehr bestimmt ausgesprochenen Meinung zusammen, daß der Raum ein Bestandteil unserer Wahrnehmung sei, dem allein eine objektive Wahrheit zukomme, während Licht, Farbe, überhaupt die Qualität der Emp-

[1] Principes de la philosophie, II. Oeuvres publ. par COUSIN, t. 3, p. 120.

findung als eine dunkle oder, wie LOCKE[1] es ausdrückte, als eine bloß subjektive Eigenschaft der Vorstellung angesehen wird. In einer geläuterten Form kehrt schließlich dieselbe Ansicht in KANTS Lehre von den Anschauungsformen wieder, durch die angeregt J. MÜLLER den neueren physiologischen Nativismus begründete[2]. Auch nach MÜLLER ist übrigens das ursprüngliche Sehen ein flächenhaftes, die Vorstellung über die Entfernung der Objekte, die davon abhängige scheinbare Größe derselben sowie die Tiefenwahrnehmung sind nicht angeboren, sondern erst durch Erfahrung erworben[3]. Noch größere Zugeständnisse machte VOLKMANN dieser letzteren, indem er zwar die Ursprünglichkeit der reinen Raumanschauung annahm, aber sogar die Vorstellung der Richtung und das Aufrechtsehen aus der Erfahrung ableitete, wobei er den Muskelempfindungen einen wichtigen Einfluß zuwies[4]. Auch in bezug auf das Doppelauge hielt er trotz der mittlerweile geschehenen Entdeckung des Stereoskops durch WHEATSTONE an der Identitätslehre fest[5]. Dieser zwischen Nativismus und Empirismus die Mitte haltende Standpunkt hat bis auf die neueste Zeit Vertreter gefunden[6]. Auch die philosophischen Ansichten SCHOPENHAUERS entsprechen im wesentlichen demselben; sie sind nur dadurch eigenartig, daß die intellektuellen Operationen, die den Einfluß der Erfahrung auf die Gesichtsvorstellungen begründen, als »intuitive Verstandestätigkeiten« von den bewußten Verstandeshandlungen unterschieden[7], und daß das Kausalprinzip auf den Wahrnehmungsvorgang angewandt wird, indem SCHOPENHAUER die Beziehung der Eindrücke auf ein äußeres Objekt als eine Betätigung des angeborenen Kausalbegriffs ansieht[8]. Nun stößt die Annahme, die angeborenen Raumanschauungen seien an und für sich subjektiv, und erst mittels besonderer Erfahrungen und Verstandeshandlungen würden sie auf äußere Objekte bezogen, auf die Schwierigkeit, daß sich in der Erfahrung selbst ein Auseinanderfallen dieser verschiedenen Akte nicht nachweisen läßt. So liegt denn der Versuch nahe, auch die Beziehung auf Außendinge als eine ursprüngliche anzusehen. Hierin wurzelt eine Modifikation der nativistischen Ansicht, die wir die Projektionshypothese nennen können[9]. Sie besteht darin, daß man der Netzhaut die angeborene Fähigkeit zuschreibt, ihre Eindrücke in der Richtung bestimmter gerader Linien, entweder der Richtungsstrahlen oder der Visierlinien, nach außen zu verlegen. PORTERFIELD[10], TOURTUAL[11], VOLKMANN[12] in einer früheren Arbeit u. a. vertreten diese Anschauung.

---

1 Essay on human understanding. Book 2, Chap. VIII, § 9 f.

2 J. MÜLLER, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, 1826, besonders S. 56, 74 ff.

3 J. MÜLLER, Handbuch der Physiologie, Bd. 2, 1837, S. 361.

4 VOLKMANN, Art. Sehen in WAGNERS Handwörterbuch, Bd. 3, 1, S. 316, 340 f.

5 Ebend. S. 317. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 5, 2, 1859, S. 86.

6 Vgl. z. B. CLASSEN, Über das Schlußverfahren des Sehaktes. 1863. Gesammelte Abhandlungen zur physiologischen Optik. 1868, Abhandl. I u. III. EBBINGHAUS, Grundzüge der Psychologie. Bd. 1, S. 424, u. a.

7 SCHOPENHAUER, Über das Sehen und die Farben². 1854, S. 7.

8 SCHOPENHAUER, Die vierfache Wurzel des Satzes vom zureichenden Grunde³. 1864, S. 51 ff.

9 Dieser Ausdruck ist allerdings in viel weiterem Sinne gebraucht worden. Es scheint aber zweckmäßig, ihn auf jene Ansichten zu beschränken, die eine angeborene oder mindestens eine fest gegebene Beziehung der Netzhautpunkte zu den Punkten im äußeren Raum voraussetzen. 10 On the eye. vol. 2, 1759, p. 285. 11 Die Sinne des Menschen. 1827.

12 VOLKMANN, Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns. 1836. Eine analoge »spe-

Sowohl die subjektive Identitäts- wie die Projektionshypothese scheiterten schließlich an den Erscheinungen des Binokularsehens. Die erstere erklärte nicht, warum wir tatsächlich auch solche Gegenstände einfach sehen, die sich auf nicht-identischen Punkten abbilden. Zur Beseitigung dieser Schwierigkeit ersann man daher verschiedene Hilfshypothesen. BRÜCKE[1] nahm an, die Verschmelzung vollziehe sich infolge von Augenbewegungen, bei denen der Fixationspunkt über die verschiedenen Punkte eines Objektes hinwandere. Dies wurde aber durch zuerst von DOVE[2] ausgeführte Versuche widerlegt, welche zeigten, daß eine Verschmelzung stereoskopischer Objekte auch noch bei der instantanen Erleuchtung durch den elektrischen Funken geschehen kann. VOLKMANN[3] nahm daher unbestimmtere psychische Tätigkeiten, teils die Unaufmerksamkeit auf Doppelbilder teils die Erfahrung über die tatsächliche Einfachheit der Objekte, zu Hilfe. An dem entgegengesetzten Übelstand litt die Projektionshypothese. Sie vermochte die binokularen Doppelbilder nicht zu erklären. Wenn die Bilder nach den Richtungsstrahlen oder Visierlinien verlegt würden, so müßte ein normales Sehorgan eigentlich alles einfach sehen, da die einem leuchtenden Punkt entsprechenden Richtungsstrahlen stets in diesem Punkte sich schneiden. In der Tat ist nun beim gewöhnlichen Sehen die einfache Wahrnehmung so sehr vorherrschend, daß noch DONDERS[4] die Projektionshypothese in etwas limitierter Form als einen wenigstens für die Mehrzahl der Fälle richtigen Ausdruck der Erscheinungen verteidigte. In anderer Weise suchte NAGEL[5] die Schwierigkeiten derselben zu beseitigen. Er nahm eine unabhängige Projektion der beiden Netzhäute auf zwei verschiedene Kugelflächen an, die sich im Fixationspunkte schneiden und beim Sehen in unendliche Ferne in eine einzige Ebene übergehen. Dabei verließ freilich NAGEL den Standpunkt der nativistischen Theorien insofern, als er die Projektion nach den Visierlinien mittels der Muskelempfindungen zustande kommen ließ und entschieden gegen die Identitätshypothese auftrat, die übrigens auch bei der nativistischen Form der Projektionstheorie nicht aufrecht erhalten werden kann, obzwar man sich über diese Unverträglichkeit beider nicht immer klar gewesen ist. Die NAGELsche Theorie erklärt so im allgemeinen die Entstehung der Doppelbilder; doch steht sie mit der Tatsache in Widerspruch, daß das binokulare Sehfeld in Wirklichkeit eine außerordentlich wechselnde Form hat, und daß auch die häufigste Form desselben für beide Augen eine gemeinsame Projektionsoberfläche darstellt, die in ihrem oberen Teil einer Kugeloberfläche, in ihrem untern der scheinbar ansteigenden Fußbodenebene zugehört (S. 659). Darum stimmt die nach der NAGELschen Hypothese berechnete

---

zifische Empfindung für Fernqualitäten des Lichtes«, bei der zugleich die mit der Entfernung der Lichtquellen eintretenden Veränderungen der Helligkeit und Farbe bestimmend sein sollen, ist auch noch von GEORG HIRTH angenommen worden. Seinen Ausführungen liegt die gegenüber den oben erwähnten halb-nativistischen Hypothesen wohl berechtigte Bemerkung zugrunde, daß die Wahrnehmung der Tiefe nicht minder eine unmittelbare Anschauung und kein Urteil sei, wie die räumliche Wahrnehmung überhaupt (G. HIRTH, Das plastische Sehen als Rindenzwang. 1892).

[1] MÜLLERS Archiv, 1841, S. 459.

[2] Berichte der Berliner Akademie, 1841, S. 252.

[3] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 5, 2, S. 86.

[4] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 17, 2, 1871, S. 7 ff.

[5] Das Sehen mit zwei Augen, 1861, S. 5, 99 ff.

Lage der Doppelbilder für die meisten Fälle nicht genau mit der wirklichen überein.

Da die subjektive Identitätshypothese im allgemeinen über die Erscheinungen des Doppelsehens, nicht aber über die Verschmelzung der Doppelbilder und die Tiefenwahrnehmung, die Projektionshypothese über die letztere, dagegen nicht über die Doppelbilder Aufschluß gab, so suchte man nunmehr die nativistische Theorie in eine Form zu bringen, in der sie wo möglich diesen beiden Ansprüchen gerecht werde. Diese Versuche gehen von der Identitätshypothese aus. Sie nehmen an, daß ursprünglich und vorzugsweise nur Eindrücke identischer Stellen einfach empfunden werden, suchen dann aber andere, ebenfalls angeborene Hilfseinrichtungen zu ersinnen, die unter Umständen auch die Verschmelzung nicht-identischer Eindrücke und die Tiefenvorstellung vermitteln könnten. So nahm PANUM an, jedem Punkte der einen Netzhaut sei nicht bloß ein identischer Punkt, sondern ein korrespondierender Empfindungskreis der andern zugeordnet. Mit identischen Punkten müsse, mit korrespondierenden könne einfach gesehen werden, von der Parallaxe der verschmelzenden nicht-identischen Punkte sei aber das »Tiefengefühl« abhängig. Neben diesem, das er als »Synergie der binokularen Parallaxe« bezeichnete, nahm er noch eine »binokulare Energie der Farbenmischung« und eine ebensolche des »Alternierens der Empfindungen« an; die Begrenzungslinien wurden von ihm als Nervenreize betrachtet, welche die verschiedenen Energien vorzugsweise leicht auslösen[1]. Hier war also einfach jede Erscheinung auf eine ursprüngliche Eigenschaft der Netzhaut zurückgeführt. Nun traf es sich aber, daß diese verschiedenen Energien offenbar miteinander in Widerstreit gerieten: so die der Farbenmischung mit der des Alternierens, so die Verschmelzung identischer Punkte mit der Verschmelzung nicht-identischer vermöge der Synergie der binokularen Parallaxe. Übrigens hat PANUM das Verdienst, bereits auf die Bedeutung der dominierenden Linien im Sehfelde hingewiesen zu haben, wobei er freilich noch nicht erkannte, daß ihnen diese Bedeutung erst durch ihren Einfluß auf die Bewegung des Auges zukommt. Die oben in ihren Grundzügen erörterte nativistische Theorie HERINGS ist im wesentlichen eine Weiterbildung dieser Synergienlehre PANUMS. Jeder Netzhauteindruck soll nach HERING drei verschiedene Arten von »Raumgefühlen« mit sich führen: ein Höhen-, Breiten- und Tiefengefühl. Die beiden ersten bilden zusammen das Richtungsgefühl für den Ort im gemeinsamen Sehfeld, sie sind für je zwei identische Punkte von gleicher Größe. Das Tiefengefühl dagegen hat für je zwei identische Punkte gleiche Werte von entgegengesetzter Größe, so daß ihnen der Tiefenwert null entspricht. Alle Blickpunkte, die diesen Tiefenwert null haben, erscheinen in einer Ebene, der »Kernfläche des Sehraums«. Dagegen haben die Tiefengefühle der äußeren Netzhauthälften positive Werte, d. h. ihre Bildpunkte liegen vor der Kernfläche, die inneren negative, ihre Bildpunkte liegen hinter der Kernfläche. Nur die Eindrücke der korrespondierenden Punkte, die, wie oben bemerkt, wegen der geneigten Lage der vertikalen Meridiane, nicht mit den identischen J. MÜLLERS zusammenfallen, werden einfach empfunden: wo sonst eine Verschmelzung eintritt, da wird diese aus psychologischen Ursachen, insbesondere auch aus der Unaufmerksamkeit auf die verschiedene Größe der Tiefengefühle

[1] PANUM, Über das Sehen mit zwei Augen. 1858, S. 59, 82 f.

abgeleitet. In solchen Fällen sollen dann die disparaten Bilder nach ihren mittleren Tiefengefühlen lokalisiert werden: so auch bei den stereoskopischen Erscheinungen. Der Rolle, die in dieser Theorie die Begriffe des Willens und der Aufmerksamkeit spielen, ist schon oben gedacht worden[1].

Die empiristische Theorie hat ihre erste bedeutendere Gestaltung in der neueren Zeit in BERKELEYS »Theorie des Sehens« gewonnen[2]. Als ein wesentliches Hilfsmittel der Gesichtsvorstellungen zieht schon BERKELEY die Tastempfindungen herbei, ein Zug, der meistens der empiristischen Theorie eigen geblieben ist[3]. In der Schilderung der psychischen Prozesse des Wahrnehmungsvorganges bediente er sich im allgemeinen der logischen Interpretation, betonte jedoch namentlich bei der Darstellung der angeblichen Einflüsse des Tastsinns auf den Gesichtssinn außerdem schon die gewohnheitsmäßige Assoziation der Vorstellungen. Ein Überlebnis dieser älteren Reflexionspsychologie ist die Annahme »unbewußter Schlüsse« in der neueren Sinnesphysiologie, die zudem an Bemerkungen KANTS[4] über die Existenz unbewußter Vorstellungen sowie besonders an SCHOPENHAUERS Lehre von der »Intellektualität der Anschauung« anklingt[5]. Ohne diese Beziehungen zu kennen, suchte ich selbst in meinen frühesten Arbeiten die psychologische Natur der bei der Bildung der Gesichtsvorstellungen wirksamen Vorgänge überall auf ein unbewußtes Schlußverfahren zurückzuführen[6], dabei aber zugleich auf die schöpferische Natur jener Synthese der Empfindungen hinweisend, wodurch sie sich von den gewöhnlichen Erfahrungsschlüssen wesentlich unterscheide[7]. HELMHOLTZ[8] erblickte in einer früheren Darstellung besonders in den Gesichtstäuschungen sowie in den stereoskopischen Wahrnehmungen die Resultate eines Denkens, das sich ohne unser Wissen und Wollen vollziehe; später schloß er sich der Annahme unbewußter Schlüsse auch in bezug auf die ursprüngliche Bildung der Gesichtswahrnehmungen, die Ordnung des Sehfeldes usw. an[9]. Einen wichtigen Fortschritt

[1] HERING, Beiträge zur Physiologie. 1861—64, S. 159, 289, 323 ff. Raumsinn des Auges, in HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, 1, S. 386 ff. Eine von C. STUMPF entwickelte Hypothese trifft in bezug auf die ursprünglichen Raumempfindungen der Netzhaut mit HERINGS Ansichten nahe zusammen. Doch setzt STUMPF keine einfache Kernfläche des Sehraumes, sondern, ähnlich wie früher NAGEL, für jedes Auge eine Kugeloberfläche als besondere Projektionssphäre voraus; ferner vermutet er, daß die Tiefenempfindungen aus verschiedenen Momenten, wie Akkommodation, Konvergenz, undeutlich gesehenen Doppelbildern usw., hervorgehen, die als Lokalzeichen der Tiefe wirken sollen. (C. STUMPF, Über den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung. 1873.)

[2] BERKELEY, Theory of vision, vgl. bes. § 46, 129. Works, vol. 1, p. 259, 301.

[3] Am weitesten ging in dieser Beziehung CONDILLAC, der dem Gesicht und den andern Sinnen überhaupt keine selbständige Entwickelung zugestand. (Traité des sensations, t. 3, 3.) BERKELEY hatte noch angenommen, der Gesichtssinn schätze für sich allein die Entfernung der Objekte teils nach der Deutlichkeit des Bildes, teils nach der Akkommodationsanstrengung des Auges ab (§ 23, 27, p. 243 ff.); CONDILLAC schreibt auch diese Vorstellungen der Hilfe des Tastsinns zu. Das Auge für sich allein empfindet nach ihm nur Licht und Farben; eine bunte Oberfläche würde es, auf sich selbst beschränkt, weder als Oberfläche noch in irgendeiner andern räumlichen Beziehung auffassen (I, 11).

[4] Anthropologie. Werke, Bd. 7, 2, S. 21, 28.

[5] SCHOPENHAUER, Vierfache Wurzel des Satzes vom Grunde, S. 55.

[6] In meinen 1858—62 erschienenen Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmung.

[7] Beiträge, S. 442 f.

[8] HELMHOLTZ, Über das Sehen des Menschen. Ein populär-wissenschaftlicher Vortrag. 1855.

[9] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 427 ff., [2] S. 576 ff.

über diese logische Form der empiristischen Theorie bezeichnet hier die Assoziationspsychologie. An BERKELEY anknüpfend suchte sie zunächst die Tiefen- und Größenvorstellungen auf Assoziationen der unmittelbaren Wahrnehmungen mit früheren Vorstellungen zurückzuführen. Doch hinderte zunächst das die ganze Psychologie des 18. und zum Teil noch des 19. Jahrhunderts beherrschende Vorurteil, das in dem Tastsinn gewissermaßen den Erzieher der übrigen Sinne sah, eine weitergehende Verwertung des Prinzips für die Analyse der Gesichtsvorstellungen. Erst in der neueren Assoziationspsychologie trat allmählich eine gewisse Koordination beider Sinnesgebiete ein, wobei aber immerhin die Analogie mit den, wie man meinte, durchsichtigeren Verhältnissen des Tastsinns noch eine wichtige Rolle spielte. So erblickte ALEX. BAIN eine solche Analogie vornehmlich darin, daß die Gesichts- ähnlich den Tastvorstellungen durch die Assoziation der spezifischen Sinnesempfindungen mit Bewegungsempfindungen entstünden. Die Linien- und Flächenvorstellungen sollen sich bilden, indem wir das Auge hin- und herbewegend verschiedene Intensitätsgrade der Bewegungsempfindung mit den Netzhauteindrücken verbinden; bei der Tiefenvorstellung sollen sodann die mit der Akkommodation und Konvergenz verbundenen Empfindungen wirksam sein[1]. Vor älteren Formen der empiristischen Theorie hat diese immerhin den Vorzug, daß sie dem Gesichtssinn eine selbständige Entwickelung zugesteht. Aber sie läßt vor allem den Einwand zu, daß sie die Prozesse der ursprünglichen Wahrnehmung von andern Assoziationen, wie sie z. B. bei den sekundären Hilfsmitteln der Tiefenwahrnehmung stattfinden, nicht zureichend unterscheidet. Zwischen beiden Formen assoziativer Verbindung besteht jedoch der wesentliche Unterschied, daß bei der gewöhnlichen Assoziation die assoziierten Vorstellungen nicht ihre Eigenschaften einbüßen, während uns die ursprüngliche Raumanschauung ein ganz und gar neues Produkt entgegenbringt[2]. Dies hat auch JOHN STUART MILL, einer der Hauptvertreter der Assoziationspsychologie, zugestanden, indem er den Vorgang eine »psychische Chemie« nennt, ein Bild, welches die hier stattfindende Verschmelzung gut veranschaulicht, ohne freilich die bedeutsamste Seite derselben, den schöpferischen Charakter dieser psychischen Synthese hervorzuheben[3]. Die spezielle Ableitung der Gesichtsvorstellungen, welche die englischen Psychologen gegeben, unterliegt übrigens dem Einwand, daß sie, wie dies bei jedem einfachen Lokalzeichensystem geschieht, die räumliche Eigenschaft irgendeiner einzelnen Empfindungsqualität, in diesem Fall den Bewegungsempfindungen zuschreiben, während dieselbe tatsächlich überall als Produkt des Zusammenwirkens disparater Empfindungen zustande kommt.

Alle Formen der empiristischen Theorie scheitern schließlich an dem inneren Widerspruch, daß die Wahrnehmung als Grundlage der Erfahrung selbst auf Erfahrung beruhen soll. Hält man an der Annahme fest, die Empfindung sei ursprünglich nicht räumlich bestimmt, so muß daher ein anderer, nicht auf Erfahrungsschlüssen oder Assoziationen fertiger Vorstellungen beruhender

---

[1] BAIN, The senses and the intellect[2], p. 245 f. Wesentlich übereinstimmende Ansichten entwickelte übrigens schon weit früher STEINBUCH, Beitrag zur Physiologie der Sinne. 1811, S. 140.

[2] Hinsichtlich dieser Unterschiede vgl. unten Abschn. V.

[3] MILL, System der deduktiven und induktiven Logik. Deutsch von SCHIEL[3]. Bd. 2, S. 460.

Vorgang angenommen werden. Hiermit erst ist der Übergang gewonnen zu den präempiristischen Assoziations- oder Verschmelzungstheorien. HERBART gebührt hier das Verdienst, wohl als der Erste eine solche Theorie in logisch widerspruchsfreier, wenn auch freilich psychologisch unhaltbarer Form aufgestellt zu haben. Analog wie beim Tastsinn, so soll auch beim Gesichtssinn die Raumvorstellung aus den Lichtempfindungen hervorgehen, die bei der Bewegung des Auges sukzessiv entstehen, und die infolge der Hin- und Rückwärtsbewegung über die nämlichen Gegenstände mit ihren Reproduktionen in abgestufter Intensität verschmelzen[1]. In dieser Reihentheorie, die aus den früher (S. 528 ff.) geltend gemachten Gründen für widerlegt gelten kann, wurzelt LOTZES Theorie der Lokalzeichen. Beim Auge nahm LOTZE nicht, wie beim Tastorgan, Mitempfindungen, sondern Bewegungsempfindungen als Lokalzeichen an. Jede Netzhautreizung löse eine Reflexbewegung aus, durch die der Eindruck auf das Netzhautzentrum übergeführt werde. Sind solche Bewegungen einmal ausgeführt worden, so soll dann aber auch das ruhende Auge die Eindrücke in die räumliche Form bringen, indem verschiedene Bewegungsantriebe sich kompensieren, wobei gleichwohl die von früherher jedem Eindruck assoziierte Bewegungsempfindung entstehe[2]. Diese Theorie schildert, wie ich glaube, den Einfluß der Bewegungsreflexe im wesentlichen richtig. Aber sie wird weder den tatsächlichen Einflüssen gerecht, welche die Analyse der extensiven Gesichtswahrnehmungen erkennen läßt, noch vermag sie zwischen diesen und jenen bloß intensiven Lokalzeichen irgendwelche Beziehungen aufzuzeigen. Bestimmt man den Begriff des Lokalzeichens lediglich als einen durch die Erfahrung geforderten, dessen Aufgabe es ist, die empirisch nachweisbaren Bedingungen der räumlichen Wahrnehmung zum Ausdruck zu bringen, so wird es aber durchaus erforderlich, neben den intensiv abgestuften Spannungsempfindungen qualitative Verschiedenheiten der Lokalzeichen anzunehmen, so daß sich erst aus der Verschmelzung dieser verschiedenartigen Elemente die extensive Form des Sehfeldes entwickelt[3]. Dieser Ableitung des Sehfeldes hat sich, abgesehen von der Annahme unbewußter Analogieschlüsse, an der er festhielt, in den wesentlichen Punkten auch HELMHOLTZ angeschlossen. Dabei betrachtete er aber die Bewegungsempfindungen und die Lokalzeichen der Netzhaut als voneinander unabhängige Hilfsmittel, deren jedes für sich schon räumliche Wahrnehmungen vermitteln könne. Außerdem hielt er die Annahme für nicht erforderlich, daß die Lokalzeichen eine stetige Mannigfaltigkeit bilden, sondern er glaubte, sie könnten beliebig über die Netzhaut verteilt sein, da doch erst die Erfahrung einem jeden seine räumliche Bedeutung anweise[4]. In dieser Form kann aber die doppelte Lokalzeichenhypothese dem Einwand nicht entgehen, daß sie die in der wirklichen Entwickelung einander begleitenden Einflüsse willkürlich scheidet, und daß

---

[1] HERBART, Psychologie als Wissenschaft, 2. Werke, Bd. 6, S. 120 f.

[2] LOTZE, Medizinische Psychologie, S. 353 ff. Vgl. hierzu die Bemerkungen LOTZES im Anhang zu C. STUMPF, Über den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung, S. 315, und Revue philosophique, 1877, p. 346.

[3] Von den hier angedeuteten Gesichtspunkten aus habe ich zuerst in der 1859 in der Zeitschrift für rationelle Medizin erschienenen 3. Abhandlung meiner Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung (gesammelt 1862, S. 145 ff.) die Entstehung des Sehfeldes zu erklären gesucht.

[4] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 800, [2] S. 950.

sie die räumliche Wahrnehmung, von der sie behauptet, sie sei in der ursprünglichen Empfindung nicht enthalten, in Wahrheit doch schon in die Empfindung, und zwar sowohl in die Bewegungsempfindungen wie in die Lokalzeichen der Netzhaut, hineinverlegt. An HERBARTS Vorstellungstheorie erinnert endlich einigermaßen eine Hypothese, die LIPPS entwickelt hat[1], nur daß dieselbe auf die Beihilfe der Bewegungen des Auges verzichtet, indem sie qualitative Lokalzeichen voraussetzt, die aber nicht an die Netzhaut, sondern an die objektiven Lichteindrücke gebunden seien. Da benachbarte Netzhautpunkte im Durchschnitt häufiger von objektiv gleichen, entferntere von objektiv verschiedenen Reizen getroffen werden, so erblickt LIPPS hierin ein Motiv für die Zusammenordnung benachbarter und die Sonderung entfernter Punkte. Aber erstens ist eine Proportionalität zwischen Entfernung der empfindlichen Punkte und Verschiedenheit des Lichteindrucks, wie sie hier vorausgesetzt werden müßte, um die Genauigkeit der extensiven Raummessungen zu erklären, schwerlich vorhanden, und zweitens bleibt nicht begreiflich, wie die Beziehung objektiv gleicher Eindrücke auf benachbarte und verschiedener auf entfernte Netzhautstellen anders geschehen sollte als durch irgendwelche Merkmale, die an die Netzhautpunkte selbst geknüpft sind, da sonst, wenn einmal die Verteilung der Lichtreize dieser gewohnheitsmäßigen Anordnung nicht entspräche, die Eindrücke verkehrt lokalisiert werden müßten. Auch dieser Theorie scheint — darin ist sie wohl der nativistischen verwandt — eine gewisse Abneigung gegen den in den älteren Theorien oft stark übertriebenen Einfluß der Bewegungen des Auges zugrunde zu liegen. Dem gegenüber muß jedoch betont werden, daß die ausschließliche Betrachtung des Auges als eines optischen Apparates nicht minder einseitig ist. »Netzhautbild« und »Bewegungsbild« zusammen erzeugen eben erst das wirkliche Bild des Gegenstandes. Die Art und Weise, wie beide ineinander greifen, kann aber nur mittels der experimentellen Analyse der Gesichtswahrnehmungen selbst näher bestimmt werden, wie dies oben versucht wurde.

---

[1] TH. LIPPS, Psychologische Studien. 1885, S. 1 ff. Vgl. auch dessen Grundtatsachen des Seelenlebens, S. 515 ff. LIPPS zählt meine eigenen Ausführungen zu den »Augenbewegungstheorien«, und A. TSCHERMAK teilt diesen Irrtum wenigstens insofern, als er glaubt, ich sei erst später von der reinen Augenbewegungstheorie zu dem Begriff der »komplexen Lokalzeichen« übergegangen (TSCHERMAK, Ergebnisse der Physiologie, IV, 1905, S. 558). Beides ist unrichtig. Nur der Ausdruck »Theorie der komplexen Lokalzeichen« ist neu; der Sache nach ist diese schon in meiner ersten Behandlung des Problems enthalten (Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, 1862, S. 164 ff.).

(Das Schlußkapitel des dritten Abschnitts folgt im dritten Bande.)



Verzeichnis der Figuren.

Register.

Bearbeitet von Dr. O. Klemm.

I. Sachregister.

II. Namenregister.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

